

Bartłomiej Igliński  
Roman Buczkowski  
Marcin Cichosz  
Grzegorz Piechota

# TECHNOLOGIE geoenergetyczne

monografia



WYDAWNICTWO NAUKOWE  
UNIWERSYTETU MIKOŁAJA KOPERNIKA  
Toruń 2010

Recenzent  
**Barbara Dejewska**

Projekt okładki  
**Wirgiliusz Małecki**

Redakcja  
**Zespół Autorski**  
(**Bartłomiej Igliński, Roman Buczkowski, Marcin Cichosz, Grzegorz Piechota**)

Druk Materiałów dofinansowano ze środków  
Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Toruniu

Printed in Poland  
© Copyright by Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika  
Toruń 2010

ISBN 978-83-231-xxxx-x

WYDAWNICTWO NAUKOWE  
UNIwersytetu MIKOŁAJA KOPERNIKA  
Redakcja: ul. Gagarina 5, 87-100 Toruń  
tel. (056) 611 42 95, fax (056) 611 47 05  
e-mail: wydawnictwo@umk.pl  
Dystrybucja: ul. Reja 25, 87-100 Toruń  
tel./fax: (056) 611 42 38, e-mail: books@umk.pl

**[www.wydawnictwoumk.pl](http://www.wydawnictwoumk.pl)**

Wydanie pierwsze  
Druk: Drukarnia Wydawnictwa Naukowego UMK  
ul. Gagarina 5, 87-100 Toruń

# SPIS TREŚCI

<b>Słowo wstępne</b> .....	7
<b>Wprowadzenie</b> .....	9
Literatura .....	13
<b>Technologie oraz metody pozyskiwania i wykorzystania energii geotermalnej</b> .....	14
1. Wprowadzenie .....	14
2. Powstawanie energii geotermicznej .....	15
3. Zasoby energii geotermalnej .....	23
4. Systemy przetwarzania i eksploatacji energii geotermalnej .....	28
5. Gospodarcze wykorzystanie energii geotermalnej .....	34
6. Literatura .....	37
<b>Ciepłownie geotermalne w Polsce</b> .....	39
1. Wprowadzenie .....	39
2. Bańska Niżna (Geotermia Podhalańska) .....	40
3. Mszczonów (Geotermia Mazowiecka).....	48
4. Słomniki.....	50
5. Pyrzyce.....	50
6. Stargard Szczeciński.....	57
7. Uniejów .....	57
8. Zakłady geotermalne w budowie.....	62
9. Literatura .....	65
<b>Wykorzystanie wód geotermalnych na cele balneologiczne i rekreacyjne w Polsce</b> .....	67
1. Wprowadzenie .....	67
2. Parametry wody leczniczej i termalnej w Polsce .....	68
3. Uzdrowiska wykorzystujące wodę geotermalną w Polsce.....	70
4. Wykorzystanie wód geotermalnych na cele rekreacyjne .....	79
5. Podsumowanie .....	94
6. Literatura.....	96
<b>Wykorzystanie energii geotermalnej na świecie</b> .....	98
1. Wprowadzenie .....	98

2. Wykorzystanie energii geotermalnej w wybranych krajach.....	102
3. Podsumowanie .....	123
4. Literatura.....	124
<b>Pompy i wymienniki ciepła .....</b>	<b>126</b>
1. Historia stosowania pomp ciepła.....	126
2. Podział i zasada działania pomp ciepła .....	128
3. Pompy ciepła – dolne źródło ciepła.....	135
4. Sprawność pomp ciepła.....	143
5. Gruntowe wymienniki ciepła .....	144
6. Literatura.....	145
<b>Pompy ciepła w Polsce.....</b>	<b>146</b>
1. Rynek pomp ciepła w Polsce .....	146
2. Efekt środowiskowy stosowania pomp ciepła.....	152
3. Pompy ciepła w Polsce – przykłady .....	153
4. Opis ankiet.....	165
5. Literatura.....	168
<b>Podsumowanie.....</b>	<b>171</b>
Załącznik 1. ANKIETA pompy ciepła (firmy).....	175
Załącznik 2. ANKIETA pompy ciepła (odbiorcy).....	176

## SŁOWO WSTĘPNE

Z prawdziwą satysfakcją przekazujemy Państwu opracowanie monograficzne pt.: „Technologie geoenergetyczne”. Celem naszego przedsięwzięcia jest przedstawienie aktualnych informacji na temat produkcji, przetwarzania i wykorzystania energii odnawialnej z wnętrza Ziemi w Polsce i na świecie. W tym celu przygotowaliśmy i wysłaliśmy ponad 350 ankiet do firm zajmujących się budową oraz instalacją pomp ciepła, jak również do odbiorców geoenergii w Polsce, chcąc aby podzielili się z czytelnikami swoim doświadczeniem.

Wszystkim respondentom, którzy odpowiedzieli na nasze ankiety składamy serdeczne podziękowania. Podziękowania pragniemy również skierować do Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Toruniu i do Dziekana Wydziału Chemii UMK, którzy udzielili pomocy finansowej a także do jednostek administracji państwowej, stowarzyszeń, ciepłowni geotermalnych, firm, osób indywidualnych, które przekazały nam informacje niezbędne przy przygotowaniu niniejszego opracowania monograficznego.

W naszej ocenie, opublikowany materiał w przeważającym stopniu ma charakter faktograficzny, a przytoczone rozwiązania proekologiczne z całą pewnością wymagają pełniejszej analizy technicznej. Licząc zatem na życzliwe przyjęcie przekazanego Państwu opracowania, wyrażamy pełne przekonanie, iż następna edycja tejże monografii pozwoli nam zamieścić kolejne przykłady wdrażanych technologii proekologicznych w energetyce.

*Autorzy*



## WPROWADZENIE

Paliwa konwencjonalne są nieodnawialne, zasoby ich maleją z każdym rokiem. Według raportu World Energy Council [1] złoża węgla kamiennego zostaną wyeksploatowane za 134 lata, węgla brunatnego za 167 lat, ropy naftowej za 36 lat, zaś gazu ziemnego za 58 lat. Im bliżej prognozowanych granic, tym wyższa cena surowców, co będzie się wiązać z kryzysem gospodarczym i konfliktami politycznymi i zbrojnymi. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż część wydobywanej ropy naftowej wykorzystywana jest w gospodarce na cele nie lokomocyjne. Jeśli jej zabraknie wiele gałęzi przemysłu będzie zagrożonych, pogłębiając kryzys.

Konflikty zbrojne, zmiany granic, masowe migracje i światowa destabilizacja polityczna – to możliwe następstwa zanieczyszczenia środowiska i zmian klimatycznych. Związane z tym zagrożenia są nie tylko natury humanitarnej, lecz także politycznej. Ograniczenie powierzchni ziemi uprawnej, brak wody, malejące zasoby ryb – te skutki zmian klimatycznych już odczuwalne w niektórych regionach na świecie. Tymczasem, w ciągu kilkudziesięciu lat w niektórych regionach wody pitnej może być mniej nawet o 20–30% [2, 3].

Cechą charakterystyczną Polski jest spalanie dużych ilości węgla w piecach domowych w celach grzewczych. Co roku spala się tak około 10 mln Mg węgla, bez jakichkolwiek filtrów i urządzeń redukujących emisję zanieczyszczeń. Związane z tym konsekwencje są dużo groźniejsze niż podczas pracy elektrowni. Z kolei do najważniejszych zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery przez elektrownie konwencjonalne należą pyły,  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$ . Zanieczyszczenie powietrza cząstkami pyłu pociąga za sobą wzrost zachorowalności i umieralności [4]. Najgroźniejszą frakcją pyłu jest pył drobny o średnicy mniejszej od  $2,5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ), przenikający przez naturalne filtry w układzie oddechowym i osadzający się głęboko w płucach. Powoduje on poważne choroby narządu oddechowego, w tym nowotwory płuc. Niestety, ten właśnie drobny pył najłatwiej przenika przez filtry instalowane w układach odlotowych spalin z elektrowni ciepłych opartych na węglu. Wraz z pyłami emitowane są metale ciężkie. Pier-

wiastki takie jak ołów i rtęć mogą powodować trwałe szkody zdrowotne, a arsen, beryl czy kadm są ponadto rakotwórcze [5, 6].

Dwutlenek azotu powoduje choroby układu oddechowego, a narażenie na jego wysokie stężenie może powodować bronchit. Najbardziej narażone są dzieci i astmatycy. Badania epidemiologiczne wykazały zwiększone o 20% ryzyko chorób układu oddechowego u dzieci przy wzroście stężenia  $\text{NO}_2$  o około  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  w ciągu 2 tygodni. Co jednak najważniejsze, tlenki azotu podobnie jak dwutlenek siarki przekształcają się w aerozole wtórne, o bardzo małych rozmiarach, i podobnie jak drobny pył emitowany z elektrowni oddziałują szkodliwie na płuca człowieka [5, 6, 7].

Badania epidemiologiczne, które można wykorzystać do określenia najniższego poziomu przy którym obserwuje się efekty szkodliwe dla zdrowia, wykazują jednoznacznie, że krótkotrwałe narażenie na stężenie  $\text{SO}_2$  powyżej  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  w obecności pyłów powoduje zaostrzenie objawów oddechowych i naczyniowych [5]. Szereg przeprowadzonych badań wykazało wpływ dziennych średnich stężeń  $\text{SO}_2$  nie przekraczających  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na umieralność powodowaną zaburzeniami układu oddechowego i naczyniowo-sercowego i na liczbę przyjęć do szpitala [7, 8].

Tabela 1. Wpływ chwilowych stężeń  $\text{PM}_{10}$  na wskaźniki zachorowań [8]

Wskaźnik	Wzrost wskaźnika [%] na każde $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wzrostu $\text{PM}_{10}$
Zachorowania układu oddechowego:	
• górnego	0,7
• dolnego	3,0
Ataki astmy	3,0
Kaszel	1,2
Przyjęcia na ostry dyżur	1,0
Zgony na choroby układu oddechowego	3,4
Zgony na choroby układu naczyniowo-sercowego	1,4

W Polsce, rejonem wysokiego ryzyka jest Górny Śląsk, gdzie koncentruje się wydobywanie węgla i jego spalanie. Badania umieralności dobowej w najbardziej zanieczyszczonym rejonie Katowic wykazały, że narażenie na  $\text{SO}_2$  i  $\text{PM}_{10}$  powoduje wzrost umieralności na choroby układu naczyniowo-oddechowego o około 10% [7]. Inne badania w Katowicach wykazały wysoką częstotliwość chronicznych objawów chorobowych w układach oddechowych dzieci o 50% wyższą niż u dzieci miejskich poza rejonem badanym [7].

Wysoki poziom zanieczyszczenia powietrza w uprzemysłowionym rejonie Śląska wiąże się ze zwiększonym ryzykiem zachorowania na choroby nowotworowe. Do najbardziej rakotwórczych i mutagennych zanieczyszczeń powietrza należą wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, wytwarzane głównie przy spalaniu węgla. Badania uszkodzeń molekularnych i genetycznych w próbkach krwi mieszkańców Śląska wykazały, że narażenie na zanieczyszczenia powietrza wiąże się ze znaczącym wzrostem adduktów kancerogennych DNA w procesie wymiany chromatyd siostrzanych i z aberacjami chromosomów [5, 7].

Wytwarzanie energii elektrycznej w Polsce wiąże się z pracą tysięcy górników. Oprócz bezpośredniego zagrożenia, (np. wybuch metanu), są oni narażeni na wdychanie pyłu węglowego, a to prowadzi do pylicy węglowej płuc, jest to choroba zawodowa. Analizy stężenia pyłu węglowego w polskich kopalniach węgla wykazały, że w 90% stanowisk pracy pod ziemią przekroczone są dopuszczalne wartości graniczne [7].



Rys. 1. Wysychające Jezioro Ostrowskie (fot. B. Igliński)

Otworowa eksploatacja deformuje budowę geologiczną, rzeźbę terenu, poziom wód podziemnych i powierzchniowych, a jednocześnie zanieczyszcza chemicznie glebę i szatę roślinną. Kopalnie odkrywkowe powodują dewa-

stację gruntu, dodatkowo wypompowywana woda jest przyczyną opadania wód gruntowych i powierzchniowych. W 2009 r. polskie kopalnie węgla brunatnego wypompały 479 mln m<sup>3</sup> wody [9], która odpływa do Bałtyku bądź paruje. Pogłębia to stepowanie kraju, gdyż zasoby wodne Polski są bardzo małe, porównywalne z Egiptem.

Warto wspomnieć, że pozyskiwanie węgla, w szczególności metodą odkrywkową, wywołuje protesty społeczne. Ludność wysiedlana i mająca swoje gospodarstwa w pobliżu kopalni coraz częściej sprzeciwia się budowie kopalni (np. Rogoźno w woj. łódzkim).

Energia ze źródeł odnawialnych jest nie tylko bardziej przyjazna człowiekowi i środowisku, ale z każdym rokiem coraz tańsza. W tabeli 1 porównano wybrane wskaźniki węgla brunatnego i, coraz popularniejszej w Polsce, biomasy wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.).

Tabela 1. Porównanie wybranych parametrów węgla brunatnego i wierzby wiciowej (dla 1 Mg) [10–14]

Parametr	Węgiel brunatny	Wierzba wiciowa (świeża)
Zawartość wody [kg]	500–600	400–550
Zawartość popiołu [kg]	60–140	15–20
Zawartość siarki [kg]	10–15	0,3–0,5
Wartość opałowa [MJ/kg]	8,5–9,0	8,7–11,6/17,0–19,5*
Cena [PLN]	104–171**	35–50

\* wartość opałowa po wysuszeniu

\*\* cena dla odbiorcy indywidualnego

Z tabeli 1 można wywnioskować, że węgiel brunatny, który jest droższy od biomasy, zawiera więcej wody, popiołu i siarki niż biomasa wierzby wiciowej. Plon z jednego hektara w 3-letnim cyklu prawidłowo prowadzonej uprawy wierzby wynosi 20–30 Mg suchej masy/rok [15]. Ażeby pozyskać z wierzby (plon 30 Mg s.m./rok/ha) tyle samo energii co z węgla brunatnego wydobytego w 2009 r. w Polsce (56 mln Mg) [9] potrzebne byłyby plantacje zajmujące łącznie kwadrat o wymiarach: 97 x 97 km, czyli zaledwie 3% powierzchni kraju. Spalanie w domowym piecu 1 Mg węgla brunatnego pociąga za sobą emisję aż 5–10 m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub>.

Jeśli Polska ograniczy spalanie paliw kopalnych o 30%, wówczas oszczędności w wydatkach związanych ze zdrowiem, wyniosą nawet 4 mld euro rocz-

nie [16]. Uwzględniając koszty zewnętrzne (koszty zdrowotne społeczeństwa, koszty degradacji środowiska, koszty emisji zanieczyszczeń, itp.) – pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych jest zdecydowanie tańsze. Generowanie energii ze źródeł odnawialnych pozwoli ożywić polską gospodarkę, a co za tym idzie, zmniejszyć skutki kryzysu ekonomicznego.

## Literatura

1. N. Zupanc, *2007 Survey of Energy Sources*, World Energy Council, London 2007.
2. K. Kuciński (red.), *Energia w czasach kryzysu*, Delfin, Warszawa 2006.
3. P. Döll, *Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective*, *Climate Change* 54, 269–293, 2002.
4. J.S. Pastuszka i in., *Badanie zależności między pyłem zawieszonym  $PM_{10}$  a stężeniem pyłu mierzonym metodami rutynowymi w kilku miastach Polski*, *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, 5(33), 179–182, 1999.
5. <http://www.who.int/en> (wejście 18.09.10.).
6. A. Strupczewski, *Koszty zewnętrzne wytwarzania energii elektrycznej*, *Biuletyn miesięczny PSE*, 11–27, grudzień 2005.
7. A. Strupczewski, U. Radovic, *Koszty zewnętrzne wytwarzania energii elektrycznej w Polsce*, *Biuletyn Miesięczny PSE*, 14–29, styczeń 2006.
8. D. W. Dockery, Cockery.A. Pope, *Acute respiratory effects of particulate air pollution*, *Annual Review of Public Health* 14, 107–132, 1994.
9. A. Pietraszewski, *Analiza wyników produkcyjno-ekonomicznych branży węgla brunatnego roku 2009*, *Węgiel Brunatny* 1(7), 2010.
10. <http://www.eko-surowce.pl/wegiel-brunatny.html> (wejście 20.11.10).
11. I. Niedziółka, A. Zuchniarz, *Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego*, *MOTROL* 8A, 232–237, 2006.
12. M. Stolarski, S. Szczukowski, J. Tworowski, *Biopaliwa z biomasy wieloletnich roślin energetycznych*, *Energetyka i Ekologia*, styczeń 2008, 77-80.
13. B. Igliński i in., *Technologie bioenergetyczne*, Wyd. UMK, Toruń 2009.
14. <http://www.kpodr.pl/przedsiębiorczosc/inne/wierzba.php> (wejście 22.09.10.).
15. <http://www.env-health.org> (wejście 18.11.10.).
16. [http://www.iso-tech.home.pl/biomasa/pliki/Artykul\\_drDubas.pdf](http://www.iso-tech.home.pl/biomasa/pliki/Artykul_drDubas.pdf) (wejście 18.11.10).

# TECHNOLOGIE ORAZ METODY POZYSKIWANIA I WYKORZYSTANIA ENERGII GEOTERMICZNEJ

## 1. Wprowadzenie

Technologie geoenergetyczne obejmują technologie związane z pozyskiwaniem i wykorzystaniem energii z wnętrza Ziemi. Energia geotermiczna jest wewnętrznym ciepłem Ziemi zgromadzonym w magmie, skałach i płynach (woda, para wodna, ropa naftowa, gaz ziemny, itp.); energia geotermalna obejmuje natomiast część energii geotermicznej zawartej w wodzie, parze wodnej oraz gorących suchych skałach.

Od wielu wieków stosuje się bezpośrednie wykorzystanie energii geotermalnej: baseny i kąpieliska z wodą geotermalną (baseny „termy”, balneologia<sup>1</sup>, uzdrowiska), ogrzewanie budynków mieszkalnych, stawów hodowlanych i szklarni, suszenie płodów rolnych, topnienie śniegu, itp. Od ponad 100 lat nowym rozdziałem technologii geoenergetycznych jest wytwarzanie prądu elektrycznego w elektrowniach geotermalnych.

Wyróżnia się geotermię wysokotemperaturową, zwaną geotermią głęboką, gdzie można energię geotermalną wykorzystać bez udziału pomp ciepła. Geotermii wysokotemperaturowej poświęcono ten rozdział, jak również rozdziały: „Ciepłownie geotermalne w Polsce”, „Wykorzystanie wód geotermalnych na cele balneologiczne i rekreacyjne w Polsce” oraz „Wykorzystanie energii geotermalnej na świecie”. Geotermia niskotemperaturowa wymaga użycia pomp ciepła. Geotermii niskotemperaturowej poświęcono rozdziały: „Pompy i wymienniki ciepła”, „Pompy ciepła w Polsce”.

Zgodnie z ustawą o prawie geologicznym i górniczym [1], wykorzystaniem ciepła Ziemi jest odbiór energii z gruntu lub górotworu za pośrednictwem

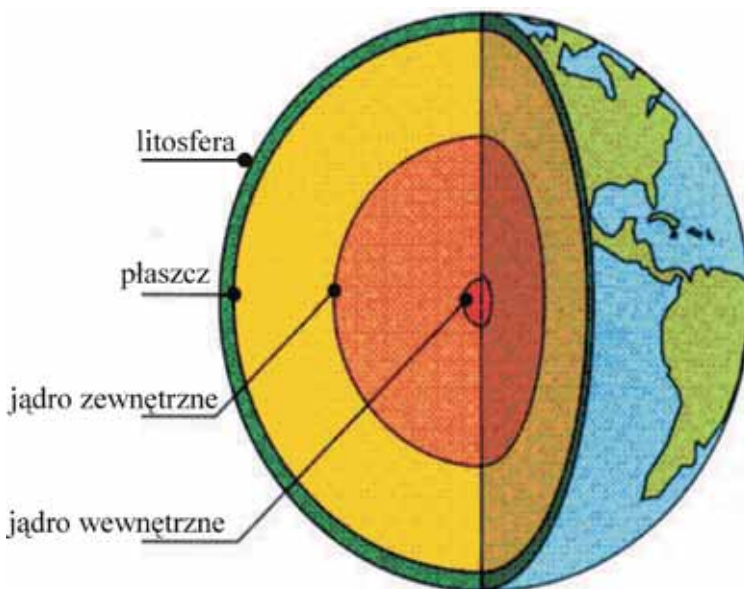
---

<sup>1</sup> Dział medycyny, nauka zajmująca się badaniem właściwości leczniczych wód podziemnych i borowin oraz zastosowaniem ich w lecznictwie wg PN-77/G 01300.

nośników energii wprowadzonych do otworu wiertniczego, zaś wtlączenie wód do górotworu jest to wprowadzanie wód z odwodnień wyrobisk górniczych, wód złożowych oraz wykorzystanych solanek, wód leczniczych oraz termalnych polegające na ich wtlączeniu otworami wiertniczymi do formacji geologicznych, izolowanych od użytkowych poziomów wodonośnych lub w uzasadnionych przypadkach również do użytkowych poziomów wodonośnych.

## 2. Powstawanie energii geotermicznej

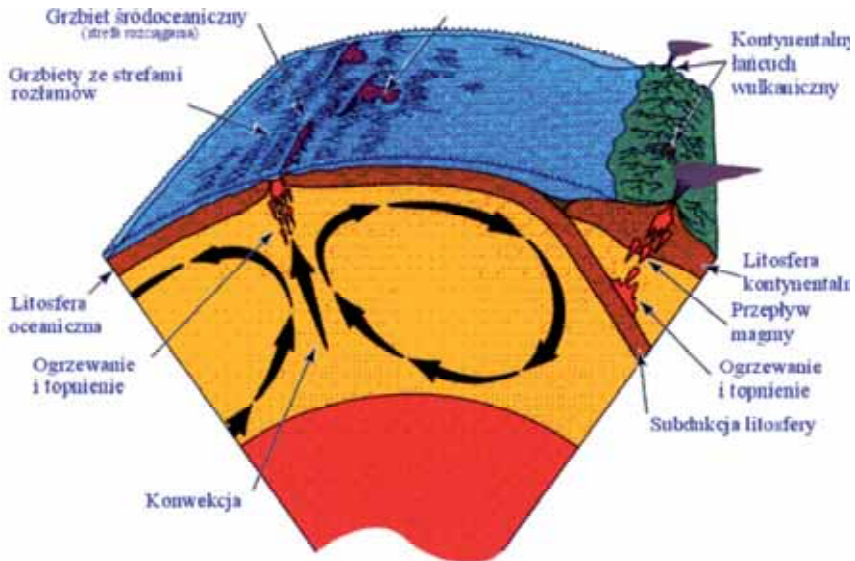
Według Lewandowskiego [2], temperatura w jądrze Ziemi sięga nawet do 5000°C, Sobański [3] podaje, iż wartość ta waha się od 3500 do 6600°C. Tak wysoka temperatura w jądrze Ziemi związana jest z energią pochodzącą z okresu formowania się kuli ziemskiej oraz z rozpadem naturalnych pierwiastków radioaktywnych ( $U^{238}$ ,  $U^{235}$ ,  $Th^{232}$ ,  $K^{40}$ ), podczas którego wydzielają się znaczne ilości energii [4]. Nowak i współpracownicy [5] podają, iż oprócz rozpadu promieniotwórczego ciepło powstaje podczas pływów w płynnym wnętrzu Ziemi, podczas krystalizacji substancji tworzących zewnętrzne jądro Ziemi. Suma tych wszystkich rodzajów energii nosi nazwę energii geotermicznej.



Rys. 1. Budowa wnętrza Ziemi [6], zmienione

Przyrost temperatury wraz z głębokością nosi nazwę gradientu (stopnia) geotermicznego. Do głębokości 10 km gradient zmienia się niemal liniowo, wzrasta średnio o  $33^{\circ}\text{C}/\text{km}$ . Są obszary na Ziemi, gdzie występują anomalie dodatnie i ujemne. Przykładem anomalii dodatnich są obszary dużej aktywności wulkanicznej, a anomalii ujemnych – miejsca występowania wiecznej zmarzliny, gdzie ujemna temperatura sięga nawet 1 km [5].

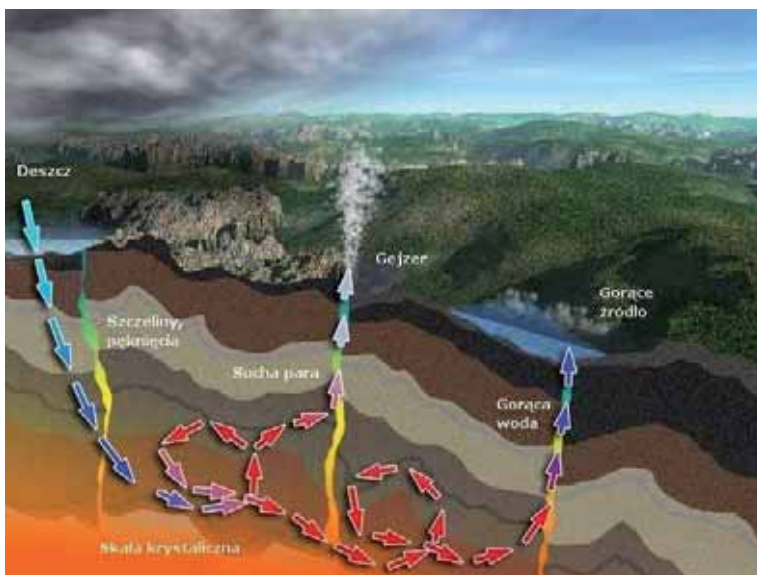
Szczególnie sprzyjające warunki do powstawania systemów geotermalnych występują w obrębie krawędzi płyt litosfery w tzw. strefach ryftowych i strefach subdukcji (rysunek 2). Strefy ryftowe stanowią miejsca o mniejszej miąższości skorupy i litosfery, do których dopływa gorąca materia z głębi Ziemi. W strefach subdukcji tworzy się skorupa kontynentalna oraz występują intensywne procesy tektoniczne powodujące spękania, co skutkuje częstością zjawisk wulkanicznych. Gorące skały magmowe, osiągające temperaturę kilkuset stopni Celsjusza przyczyniają się do występowania gejzerów czy gorących źródeł. Do zaistnienia wymienionych zjawisk, oprócz gorących skał, potrzebne są również wody z opadów zasilające skały wodonośne, którym skały magmowe oddają zgromadzone ciepło. Krajem najbardziej znanym z występowania gejzerów i gorących źródeł jest Islandia [7].



Rys. 2. Dynamika Ziemi [7]

Źródła geotermalne, gejzery (rysunek 4, 5) czy naturalne emanacje par (rysunek 6) stanowią same w sobie unikalną atrakcję przyrodniczą i turystyczną

(rysunek 7); w miejscach tych opłacalne jest wytwarzanie prądu elektrycznego (rysunek 8). Miejsca ich występowania objęte są nierzadko ochroną jako parki narodowe bądź obszary posiadające specjalny status prawny.



Rys. 3. Schemat powstawania gejzerów i gorących źródeł [8]

Warto wspomnieć, że pierwszy park narodowy na świecie – Yellowstone (USA) został powołany w 1872 r. przez prezydenta Ulyssesa S. Granta właśnie dla ochrony, zachowania i prawidłowego udostępniania turystycznego naturalnych zjawisk hydrotermalnych [9]. Na terenie Parku znajduje się ponad 10000 miejsc, gdzie aktywnie są gejzery, gorące źródła, wrzące stawy, gejzery błotne, emanacje par, różnobarwne nagromadzenia minerałów wytrącających się z gorących wód i par, itp. Gorące źródła i gejzery zostały utworzone przez wody powierzchniowe nasączające porowate skały, w których woda zostaje ogrzana pod ciśnieniem i wyrzucona z powrotem na powierzchnię. Przegrzana woda tworzy zarówno gejzery jak i gorące źródła. Przy gwałtownym spadku ciśnienia kanalik wodny zamienia się w parę gejzera. W Yellowstone znajduje się ponad 3000 gejzerów, a najslawniejszy jest Old Faithful (rysunek 5). Niektóre gejzery wyrzucają słupy wrzącej wody na wysokość 75 m. Gorące źródła w przeciwieństwie do gejzerów powstają z gorących wód pomagmowych, wydobywających się z głębi Ziemi na obszarach działalności wulkanicznej. Takie wody mogą tworzyć fumarole, składające się głównie

z pary wodnej z domieszkami dwutlenku węgla, fluoru, chloru, wodoru, azotu, par siarki, także siarkowodoru, chlorowodoru, które występują w kraterach i szczelinach czynnych wulkanów [10, 11].



Rys. 4. Gejzer Strokkur<sup>2</sup> (fot. N. Cobbing, Greenpeace)

---

<sup>2</sup> Gejzer Strokkur to największy czynny gejzer Islandii. Wybucha co 5–10 minut. Wyrzuca słup wody o średnicy 3 m na wysokość 30 m.



Rys. 5. Gejzer Old Faithful<sup>3</sup> (fot. A. Kaczmarski)

---

<sup>3</sup> Old Faithful to gejzer położony w Parku Narodowym Yellowstone. Jest jednym z najpopularniejszych gejzerów, ponieważ wybucha regularnie i najczęściej z wszystkich dużych gejzerów. Jego nazwa, która dosłownie oznacza „stary wierny”, została nadana mu przez ekspedycję w 1870 roku i odzwierciedla fakt, że erupcje gejzera są dość dokładnie przewidywalne. W 2004 roku przerwa pomiędzy erupcjami trwała ok. 55-100 minut i była proporcjonalna do czasu trwania erupcji poprzedniej. Erupcje trwały zazwyczaj od 1,5 do 5 minut. Po erupcji trwającej mniej niż 2,5 minuty następuje przerwa 65 minutowa ( $\pm 10$  min.), a po erupcjach dłuższych niż 2,5 minuty, przerwa 92 minutowa ( $\pm 10$  min.). Po trzęsieniu Ziemi z 1998 roku najczęściej mają miejsce dłuższe erupcje z długą przerwą. W czasie erupcji gejzera w powietrze wrzucane jest od 14 do 32 tysięcy litrów wrzącej wody. Wyrzucana woda ma średnią temperaturę 95°C, woda tworzy szeroką kolumnę o średniej wysokości 40 metrów, choć może ona mierzyć od 32 do 56 metrów [6].



Rys. 6. Emanacje par w okolicy Holsselsnalar, Islandia (fot. N. Cobbing, Greenpeace)



Rys. 7. Błękitna Laguna, Islandia (fot. Ch. Aslund, Greenpeace)



Rys. 8. Elektrownia geotermalna w pobliżu Reykiawiku (fot. N. Cobbing, Greenpeace)

Obszary występowania wód geotermalnych można podzielić na następujące formacje:

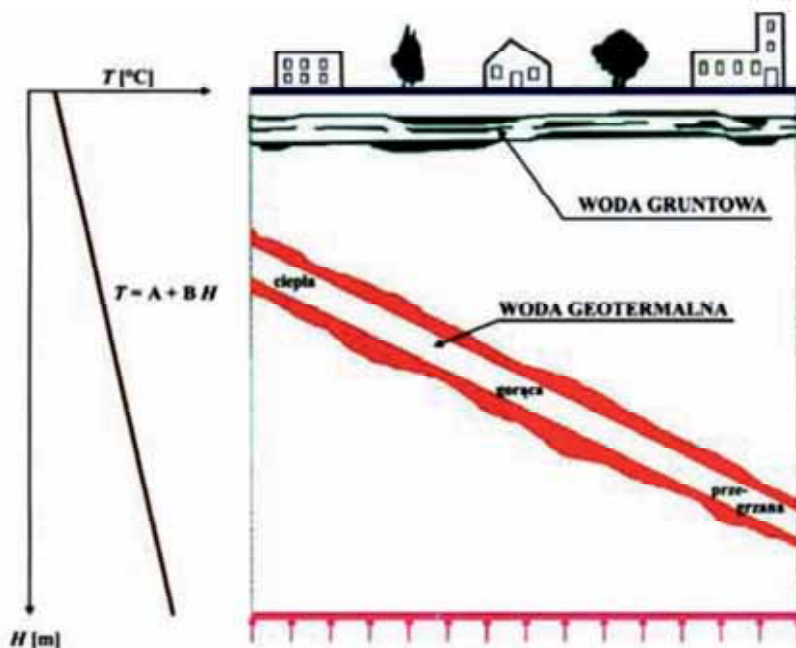
- zbiornik geotermalny – zespół skał porowatych i przepuszczalnych wypełniony wodami lub parami o mineralizacji umożliwiającej ich praktyczne wykorzystanie, ograniczony warstwami nieprzepuszczalnymi od góry (stropem) i od dołu (spągciem),
- basen geotermalny – zespół zbiorników geotermalnych typu warstwowego, ułożonych przeważnie jeden na drugim o nieckowatym kształcie,
- subbasen geotermalny – jest częścią basenu geotermalnego tworzącego odrębny zespół obniżzeń strukturalnych, ograniczony od innych subbasenów strukturami utrudniającymi przepływ wód pomiędzy poszczególnymi subbasenami,
- niecka geotermalna – obniżona strukturalnie część basenu lub subbasenu, otoczona strukturalnymi podniesieniami utrudniającymi przemieszczanie wód,
- region geotermalny – obszar przeważnie usytuowany między basenami, zawierający zbiorniki wód geotermalnych typu szczelinowego lub małe zbiorniki typu warstwowego oraz
- prowincja geotermalna – zespół basenów ułożonych obok siebie lub

nad sobą zbudowanych z występujących naprzemiennie skał zbiornikowych i uszczelniających. Prowincja posiada jednolity system hydrodynamiczny, ale każdy basen, subbasen czy niecka zachowują swoją specyfikę [12].

Najważniejsze parametry charakteryzujące złoże wody geotermalnej:

- temperatura wody na wypływie [°C],
- wydajność wypływu [ $\text{m}^3/\text{h}$ ,  $\text{dm}^3/\text{s}$ ],
- ciśnienie wypływu [Pa]: artezyjskie (samowypływ) lub subartezyjskie,
- głębokość stropu zbiornika wodonośnego [km],
- miąższość skał wodonośnych [m],
- mineralizacja wody [ $\text{g}/\text{dm}^3$ ]: słabo zmineralizowane ( $1\text{--}3 \text{ g}/\text{dm}^3$ ), średnio zmineralizowane ( $3\text{--}10 \text{ g}/\text{dm}^3$ ), silnie zmineralizowane ( $10\text{--}35 \text{ g}/\text{dm}^3$ ), solanka ( $>35 \text{ g}/\text{dm}^3$ ) [4, 5].

Woda geotermalna wypływająca na powierzchnię Ziemi ma temperaturę niższą od temperatury w złożu, czego przyczyną jest jej wychładzanie w przypowierzchniowych warstwach Ziemi. Zmiana temperatury wody związana z głębokością jej występowania, uzależniona jest od gradientu geotermicznego, co przedstawiono na rysunku 9 [5].



Rys. 9. Zmiana temperatury wód podziemnych wraz ze zmianą głębokości [5]

Temperatura wody geotermalnej na danej głębokości określona jest za pomocą następującej zależności:

$$T = T_{sr} + B \cdot H \text{ [}^\circ\text{C]}$$

gdzie:

$H$  – głębokość [km],

$B$  – gradient geotermiczny [ $^\circ\text{C}/\text{km}$ ],

$T_{sr}$  – średnia temperatura na powierzchni Ziemi [ $^\circ\text{C}$ ].

### 3. Zasoby energii geotermalnej

Według Lewandowskiego [2], całkowite światowe zasoby energii geotermalnej przewyższają 35 bilionów razy obecne zapotrzebowanie na energię. Szacuje się, iż wynoszą one około  $8 \cdot 10^{30}$  J. Zasoby energii geotermalnej oszacowane do głębokości 5 km (granica możliwości technicznego wykonania odwiertów) według Lewandowskiego [2], wynoszą  $1,4 \cdot 10^{26}$  J, zaś według Wichowskiego [13] –  $3 \cdot 10^{26}$  J.

Zasoby energii geotermicznej są ogromne – do głębokości 10 km 50 tysięcy razy przewyższają ilość ciepła, jaką można uzyskać z ropy naftowej, gazu ziemnego, węgla czy z izotopów promieniotwórczych [2–5].

Klasyfikacja zasobów geotermalnych:

1) ze względu na sposób pozyskiwania energii:

- zasoby petrotermiczne – energia geotermalna zmagazynowana jest w suchych, porowatych, ogrzanych masywach skalnych [2, 14] oraz skałach wysadów solnych [3]; w formacjach tych brak jest naturalnego medium, z którego można by pozyskiwać energię geotermalną, konieczne jest więc do jej wykorzystania wpompowanie wody do pokładów skalnych lub też wykorzystanie tzw. sond ciepła (wymieniki ciepła) [2, 14],
- zasoby hydrotermiczne – występują w dwóch postaciach: jako dwuskładnikowa mieszanina wody i pary wodnej, o temperaturze sięgającej od 200 do 300 $^\circ\text{C}$  oraz jako gorące wody, o temperaturze od 50 do 70 $^\circ\text{C}$ ; wody te stanowią naturalne medium, z którego pozyskuje się energię geotermalną [2, 3, 14].

2) podział zasobów geotermalnych na klasy, z uwzględnieniem temperatury wody:

- klasa I – temperatura < 100 $^\circ\text{C}$ ,
- klasa II – temperatura od 100 do 150 $^\circ\text{C}$ ,
- klasa III – temperatura od 150 do 250 $^\circ\text{C}$ ,
- klasa IV – temperatura > 250 $^\circ\text{C}$  [14].

3) ze względu na osiąganą temperaturę wody, źródła dzieli się również na wysokotemperaturowe oraz niskotemperaturowe:

- wody zimne  $\leq 20^{\circ}\text{C}$ ,
- wody ciepłe (niskotemperaturowe)  $20\text{--}35^{\circ}\text{C}$ ,
- wody gorące (średnotemperaturowe)  $35\text{--}80^{\circ}\text{C}$ ,
- wody bardzo gorące (wysokotemperaturowe)  $80\text{--}100^{\circ}\text{C}$ ,
- wody przegrzane (bardzo wysokotemperaturowe)  $> 100^{\circ}\text{C}$  [3].

4) ze względu na rodzaj źródła:

- o normalnym gradiencie temperatury – źródła takie nie nadają się do produkcji prądu elektrycznego, ponieważ aby wydobywana woda miała odpowiednią do tego temperaturę (wyższą niż  $150^{\circ}\text{C}$ ), należałoby wykonać odwiert o głębokości około 5000 m, co przy zastosowaniu obecnie dostępnej technologii nie jest opłacalne,
- radiogeniczne – temperatura źródła związana jest z rozpadem pierwiastków radioaktywnych skorupy ziemskiej; pozyskiwana energia jest zbyt rozproszona, aby ją efektywnie wykorzystywać,
- o wysokim strumieniu ciepła – na terenach o dużej gęstości strumienia ciepła oraz niskim współczynniku przewodzenia ciepła tworzą się znaczne gradienty temperatury; źródła takie występują na obszarach charakteryzujących się niezbyt grubą skorupą ziemską, co powoduje, iż budowa siłowni geotermalnej jest bardzo opłacalna,
- geociśnieniowe – to wody występujące pod ciśnieniem w skałach porowatych, można z nich uzyskać trzy typy energii: ciepło, chemiczną oraz hydrauliczną,
- punktowe – związane z obecnością w skorupie skalnej magmy lub radioaktywnego plutonu, a także znajdujące się powyżej przepuszczalnej warstwy skalnej; spływająca woda opadowa docierając do warstwy magmy lub plutonu podgrzewa się, a wrzący geopłyn wydostaje się szczelinami na powierzchnię Ziemi [15].

### 3.1. Naturalne i sztuczne złoża geotermalne

Naturalne złoża geotermalne obejmuje warstwę masywu skalnego o podwyższonej temperaturze z naturalną przepuszczalnością wynikające z istnienia wydrzeń, szczelin i pęknięć. Złoża te charakteryzuje się dużą powierzchnią wymiany ciepła dla przepływającego przez tę warstwę płynu [5]. Płyn przejmuje ciepło od złoża geotermicznego, do którego energia doprowadzana jest z otaczającego, nieprzepuszczalnego dla płynu masywu skalnego o wysokiej temperaturze. Woda, przepływając przez warstwę przepuszczalną, przejmuje ciepło od warstwy przepuszczalnej, która to z kolei odbiera ciepło od gorących skał nieprzepuszczalnych. Złoża przepuszczalne można więc

traktować jako swego rodzaju wymiennik ciepła, w którym ilość przekazywanego ciepła zależy m.in. od porowatości, miąższości i intensywności przepływu płynu w samym złożu, oraz od warunków termicznych skał nieprzepuszczalnych otaczających złożo.

Jeśli nie ma odpowiednich warunków (brak odpowiedniej przepuszczalności) do pozyskania energii, można wytworzyć sztuczne strefy przepuszczalności skał poprzez [5]:

- kruszenie skał za pomocą szczelinowania hydraulicznego,
- kruszenie skał przy pomocy podziemnych wybuchów jądrowych,
- termodynamiczne kruszenie skał – prowadzi się naprzemiennie proces nagrzewania i odparowującego schładzania minerałów w wyniku czego następuje kruszenie skał wskutek naprężeń termicznych i efektów gazodynamicznych,
- hydrodynamiczne kruszenie skał – metoda polega na wykorzystaniu wysokiego ciśnienia w odwiercie, powstającego wskutek detonacji niedużych ładunków wybuchowych lub wyładowania elektrycznego,
- wykorzystanie ciśnienia górotworu do kruszenia masywu skalnego przy jego deformacji nad systemami pustych miejsc i kanałów. Puste przestrzenie można uzyskać metodami rozpuszczania, ługowania, roztopiania i spalania odpowiednich komponentów minerałów,
- synergicznego kruszenia skał – w wyniku koncentracji energii w strefie lokalnej, przy nakładaniu się fal akustycznych emitowanych przez wiele źródeł fal akustycznych rozmieszczonych w odpowiednim systemie odwiertów.

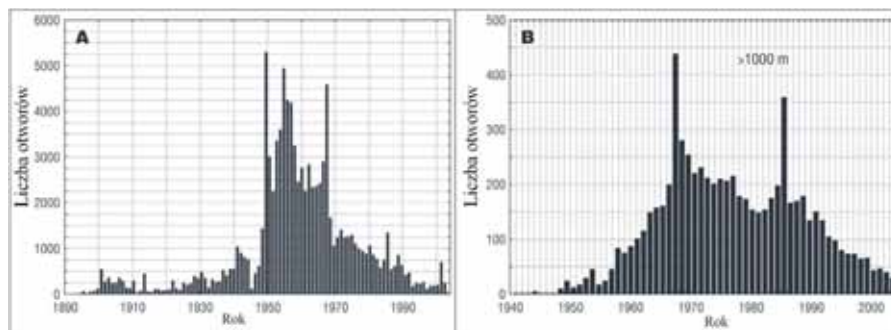
### *3.2. Zasoby energii geotermalnej w Polsce*

Polska należy do krajów posiadających bogate zasoby wód geotermalnych o niskiej i średniej entalpii. Potencjał energetyczny wód geotermalnych został opracowany na podstawie danych z głębokich otworów wiertniczych wykonanych głównie celem poszukiwania złóż ropy naftowej i gazu ziemnego [16, 17].

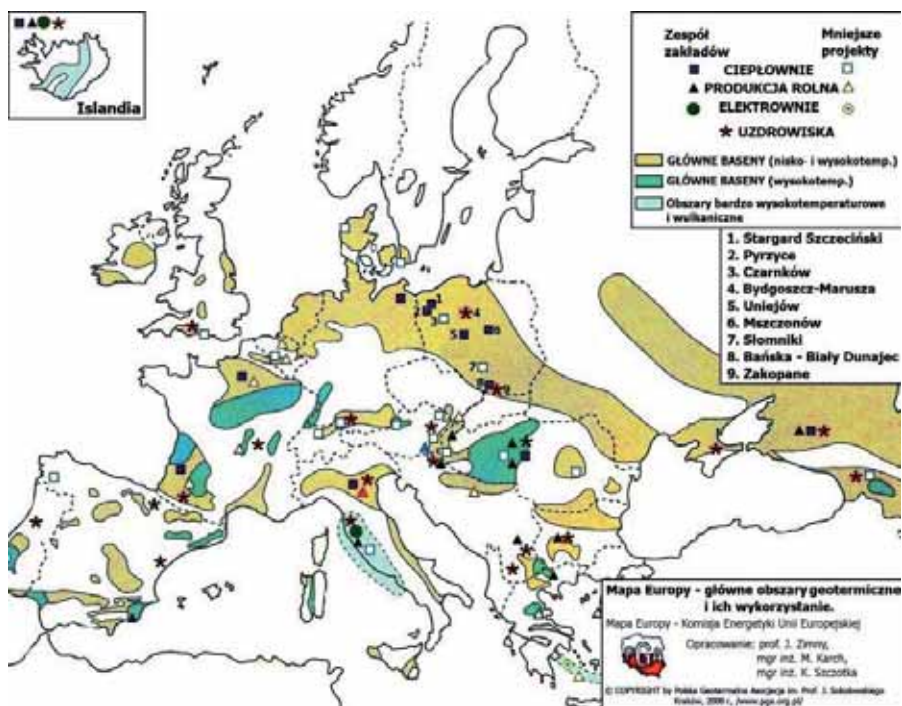
Najwięcej otworów wiertniczych wykonano w Polsce w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX wieku (rysunek 10), podczas poszukiwań gazu ziemnego i ropy naftowej. Ze względu na znaczne koszty wykonania otworów głębokich, obecnie i w przyszłości liczba nowych będzie ograniczona [18, 19].

Jak już wspomniano, Polska jest krajem posiadającym bardzo bogate złoża wód geotermalnych, które występują pod powierzchnią ponad 80% powierzchni naszego państwa. Temperatura tych wód waha się od 30 do 130°C, a w niektórych miejscach przekracza nawet 200°C [2] (na głębokości od 1 do

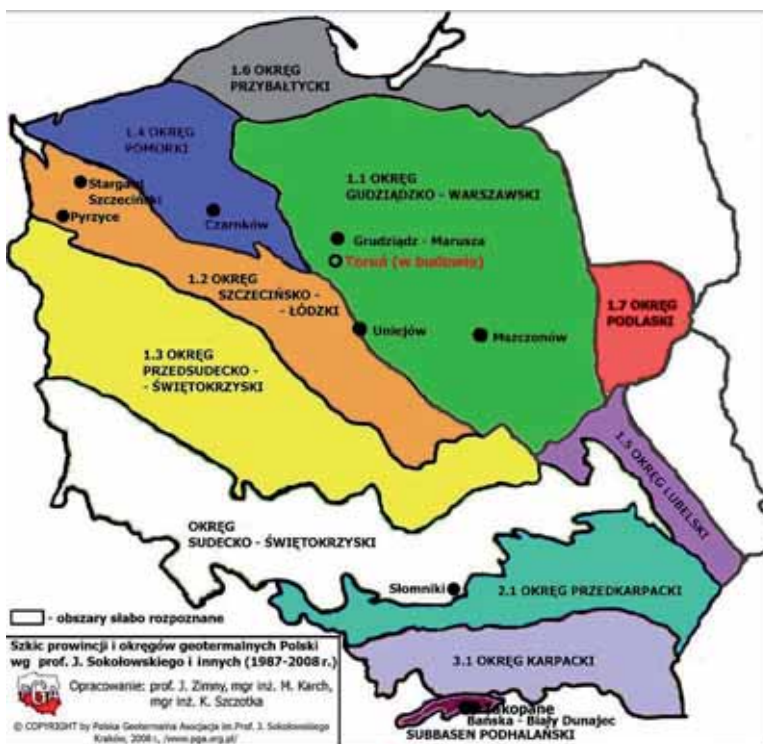
3 km). Stopień zmineralizowania wody mieści się w zakresie od 1 do 300 g/dm<sup>3</sup> [18]. Praktyczne wykorzystanie energii geotermalnej możliwe jest na przeważającej powierzchni kraju, ze względu na kryteria opłacalności wydobycia, do jakich zaliczyć możemy głębokość występowania źródła (2 km), temperaturę (> 65°C) oraz zasolenie wody (< 30 g/dm<sup>3</sup>) [18].



Rys. 10. Liczba otworów wiertniczych wykonanych w Polsce; A – wszystkie wiercenia, B – wiercenia na głębokości powyżej 1 km [18, 19]



Rys. 11. Zasoby geotermalne Polski na tle Europy [20]



Rys. 12. Okręgi i prowincje geotermalne w Polsce [20]

Tabela 1. Formacja geologiczna i energia możliwa do uzyskania z poszczególnych okręgów [20, 21, 22, 23]

Okręg	Formacja geologiczna	Energia ciepła [t.p.u./km <sup>2</sup> ]
Grudziądzko-warszawski	kreda, jura, trias	168 000
Szczecińsko-łódzki	kreda, jura, trias	246 000
Sudecko-świętokrzyski	perm, trias	26 000
Pomorski	perm, karbon, dewon, lias, trias	13 000
Lubelski	karbon, dewon	16 000
Przybałtycki	kamb, perm, mezozoik	16 000
Podlaski	kamb, perm, mezozoik	16 000
Przedkarpacki	trias, jura, kreda, trzeciorzęd	97 000
Karpacki	trias, jura, kreda, trzeciorzęd	55 000

## 4. Systemy przetwarzania i eksploatacji energii geotermalnej

Biorąc pod uwagę wykorzystanie energii geotermalnej na potrzeby ludzkości, znaczenia nabierają złoża geotermalne w postaci par lub wód, które nadają się do praktycznego wykorzystania. Dotyczy ono wód, które znajdują się na głębokości umożliwiającej ich techniczną i ekonomiczną eksploatację. Obecnie opłacalne jest pozyskiwanie energii geotermicznej, z wykorzystaniem otworów wiertniczych do głębokości 3–4 km [5, 15].

Podstawowe elementy systemów do wydobywania i zagospodarowania energii geotermalnej to [5, 15]:

- złoża geotermalne najczęściej w postaci warstwy wodonośnej, odbierającej ciepło od szkieletu skalnego,
- kanały dostępu do złoża, łączące poziom roboczy złoża z powierzchnią,
- płyn jako nośnik ciepła (najczęściej woda),
- specjalne oprzyrządowanie podziemne (pompy głębinowe, pompy, zapuszczone w otworach wymienniki ciepła),
- zespół urządzeń, w tym powierzchniowe wymienniki ciepła, umożliwiające wykorzystanie wody geotermalnej do celów grzewczych i/ lub technologicznych,
- zespół urządzeń technicznych (separator, turbina, generator) pozwalające na wytworzenie energii elektrycznej w przypadku wysokiej temperatury nośnika ciepła,
- zespół urządzeń wspomagających w przypadku zbyt niskiej temperatury nośnika (kotły szczytowe).

Systemy pozyskiwania energii geotermalnej można podzielić na systemy samowydobycze oraz na systemy z wymuszonym przepływem nośnika ciepła [5]:

- naturalny system gejzerowy, w którym nośnik ciepła wydobywa się na powierzchnię w postaci gejzeru,
- naturalny system gorących źródeł, w którym nośnik ciepła wydobywa się na powierzchnię w postaci ciepłych, gorących lub przegrzanych wód termalnych,
- naturalny system fumarolowy, w którym nośnik ciepła wydziela się z ognisk wulkanicznych,
- sztuczny system, w którym naturalny nośnik ciepła pod działaniem hydrostatycznego ciśnienia artezyjskiego doprowadzany jest na powierzchnię terenu do zespołu eksploatacyjnego,
- sztuczny system fumarolowy, w którym dostęp do złoża magmy uzyskuje się za pomocą sztucznie wykonanego otworu kończącego się w pobliżu magmy (rozwiązanie perspektywiczne),

- sztuczny system wulkaniczny, w którym do ogniska wulkanicznego lub magmowego prowadzi gładki szyb lub odwiert o dużej średnicy, na dnie którego umieszcza się ładunki wybuchowe. W wyniku wybuchu strumień magmy wydobywa się na powierzchnię ziemi i tworzy jezioro lawy w odpowiednio przygotowanym zbiorniku (rozwiązanie perspektywiczne).

W zależności od miejsca wydobywania i przetwarzania energii geotermicznej można dokonać podziału na:

1) technologie przetwarzania energii geotermicznej bezpośrednio w Ziemi [2, 3, 4, 5]:

- termoelektryczne – pozyskiwanie energii elektrycznej za pomocą półprzewodnikowych ogniw termoelektrycznych umieszczonych bezpośrednio w magmie lub wysokotemperaturowym płynie,
- geotermochemiczne – prowadzenie procesów chemicznych takich jak fermentacja czy polimeryzacja za pomocą specjalnych reaktorów umieszczonych w gorących płynach,
- geotermomineralne – polegające na wytworzeniu pożądanych substancji w wyniku krystalizacji poprzez wprowadzenie do złoża odpowiednich reagentów.

2) technologie wykorzystania energii geotermicznej polegające na jej przetworzeniu już na powierzchni ziemi na ciepło, energię elektryczną lub w procesach technologicznych za pomocą odpowiedniego nośnika ciepła, którym może być:

- woda geotermalna,
- przegrzana woda geotermalna w postaci pary,
- gorące suche skały.

Biorąc pod uwagę technologie przetwarzania energii geotermicznej wymienione w punkcie nr 1., należy je traktować jako przyszłościowe, obecnie znajdują się na etapie badań. Technologie wymienione w punkcie 2. należy zaliczyć do technologii wykorzystania i przetwarzania energii geotermalnej, a więc części energii geotermicznej zawartej w wodzie, parze wodnej oraz suchych skałach.

Systemy pozyskiwania energii geotermalnej z wnętrza Ziemi najczęściej składają się z następujących elementów:

- górotwór z naturalnie bądź sztucznie wytworzonymi strukturami otwartych porów, wydrążeń, szczelin i pęknięć o określonej przepuszczalności, spełniający funkcję skalnego wymiennika ciepła,
- kanały łączące roboczy poziom skalnych wymienników ciepła z powierzchnią Ziemi,
- ruchomy płynny nośnik ciepła (woda),
- naziemny zespół urządzeń technicznych do przetwarzania i wykorzystania energii geotermalnej [2, 3, 4, 5].

Systemy eksploatacji energii geotermalnej ze względu na rodzaj złoża, jego położenie i parametry można podzielić na [5, 15]:

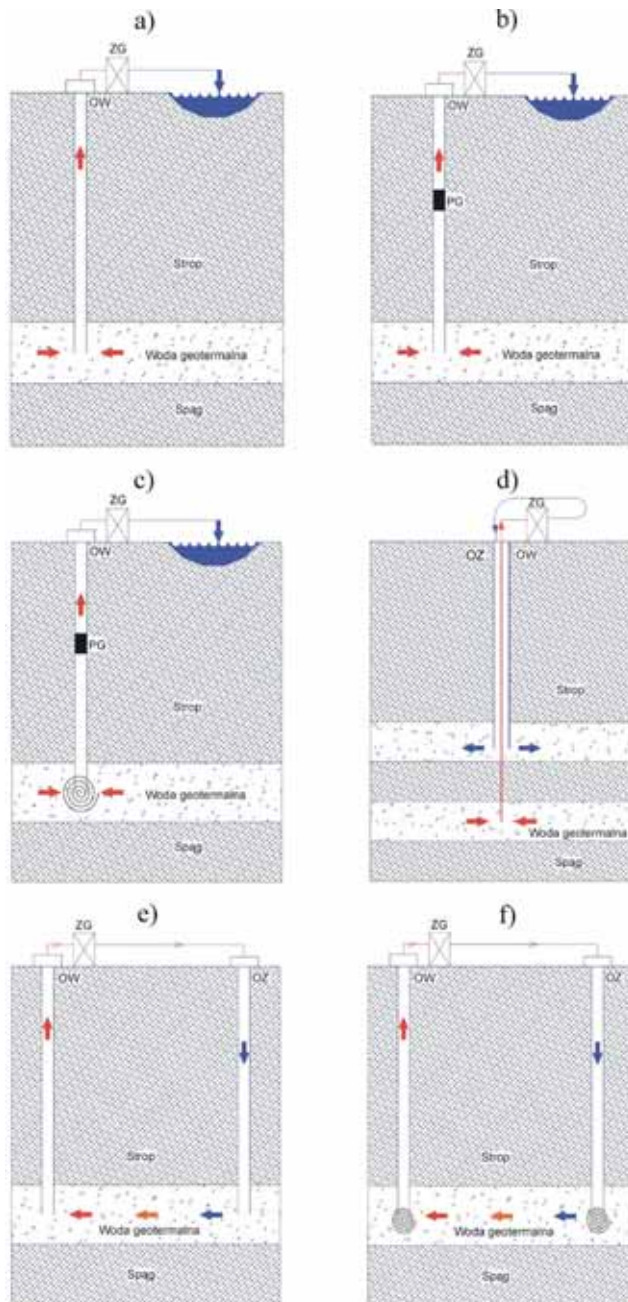
- jednootworowy system eksploatacyjny z samoczynnym wypływem słabo zmineralizowanej wody geotermalnej o ciśnieniu artezyjskim (rysunek 13a),
- jednootworowy system eksploatacyjny słabo zmineralizowanej wody geotermalnej z poziomu wodonośnego o ciśnieniu subartezyjskim, z wykorzystaniem pompy głębinowej PG (rysunek 13b).
- jednootworowy otwarty system eksploatacyjny słabo zmineralizowanych wód geotermalnych, z wykorzystaniem pomp głębinowych, ze sztucznie podwyższoną rozpuszczalnością złoża w pobliżu otworu wydobywczego (rysunek 13c).
- jednootworowy system wydobywczo-zatłaczający stosowany w przypadku zmineralizowanych wód geotermalnych; woda geotermalna pobierana jest ze złoża położonego niżej i zatłaczana do złoża położonego wyżej (rysunek 13d).
- dwuotworowy system zamknięty z otworami wydobywczym i zatłaczającym, z wymuszoną cyrkulacją, stosowany w przypadku zmineralizowanych wód geotermalnych (rysunek 13e).
- dwuotworowy system wykorzystania energii geotermalnej gorących skał na dużych głębokościach ze sztucznie wytworzoną przepuszczalnością w wyniku eksplozji ładunków wybuchowych dużej mocy. Odbieranie ciepła od gorących skał odbywa się w wyniku wymuszonej cyrkulacji wody. W przypadku temperatury skał znacznie przewyższającej temperaturę 100°C, cyrkulująca w gorącym złożu woda zmienia się w parę wodną (rysunek 13f).

#### 4.1. Wymienniki ciepła

Wymienniki ciepła są urządzeniami służącymi do przekazywania ciepła pomiędzy różnymi czynnikami (nośnikami ciepła) o różnej temperaturze. W przemysłowych wymiennikach najczęściej stosuje się nośniki takie jak: gorąca woda, para wodna, spaliny, podgrzane powietrze, itp. Wymienniki ciepła znajdują zastosowanie w wielu gałęziach gospodarki, dlatego też często noszą nazwy określające ich przeznaczenie np.: chłodnice, skraplacze, wytwornice pary, pogrzewacze, parowniki, itd. [24].

Wymienniki ciepła ze względu na zasadę działania dzieli się na:

- przeponowe (rekuperatory) – czynnik ogrzewany i ogrzewający oddzielone są przegrodą, która stanowi powierzchnię wymiany ciepła,



Rys. 13. Systemy pozyskiwania energii geotermalnej (opis w tekście), (opracowanie własne za [5,15])

- regeneratory – wymianę ciepła zapewniają materiały ceramiczne lub metale (cegły, blachy, siatki, itp.) do których najpierw wprowadzany jest gorący czynnik od którego odbierane jest ciepło i akumulowane w tym wypełnieniu, a następnie wprowadzany jest zimniejszy płyn, który odbiera ciepło od powierzchni wypełnienia,
- bezprzeponowe (mieszalniki) – wymiana ciepła odbywa się na zasadzie bezpośredniego wymieszania się dwóch nośników o różnych temperaturach.

W systemach geotermicznych znajdują zastosowanie rekuperatory, które można podzielić na:

- powierzchniowe: płytowe, rurowe, płaszczowe,
- przypowierzchniowe: płytkie pionowe sondy ciepła (do 200 m), poziome kolektory ziemne (2 m),
- głębokogruntowe: naturalne, głębokie pionowe sondy ciepła.

Najczęściej stosowane geotermalne wymienniki ciepła są typu „rura w rurze”, czyli do zewnętrznej rury wprowadzana jest wewnętrzna rura. Wymiennik taki posiada więc 2 kanały przepływu: zewnętrzny (pierścieniowy) i wewnętrzny (cyldryczny). Wymiana ciepła między czynnikami zależy od rozkładu temperatury płynów wzdłuż powierzchni wymiany ciepła, a rozkład temperatury zależy od kierunku przepływu płynów oraz od strumieni pojemności cieplnych. Najprostszym przypadkiem jest równoległy przepływ płynów. Najważniejsze równania wykorzystywane podczas obliczeń to równanie wymiany ciepła (prawo Pecleta) oraz równanie bilansu energii [15, 24]:

- prawo Pecleta:

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta T$$

gdzie:

$Q$  – wymieniane ciepło [W],

$k$  – współczynnik przenikania ciepła [W/m<sup>2</sup>K],

$A$  – powierzchnia wymiany ciepła [m<sup>2</sup>].

- równanie bilansu energii:

$$Q_1 = m \cdot c_{p1} (T_1 - T_2)$$

$$Q_2 = m \cdot c_{p2} (T_2 - T_1)$$

gdzie:

$Q_1$  – ciepło oddane przez czynnik „1” (cieplejszy) [W],

$Q_2$  – ciepło pobrane przez czynnik „2” (zimniejszy) [W],

$m_1$  – przepływ masowy czynnika „1” [kg/s],

$m_2$  – przepływ masowy czynnika „2” [kg/s],  
 $c_{p1}$  – ciepło właściwe czynnika „1” [J/kgK],  
 $c_{p2}$  – ciepło właściwe czynnika „2” [J/kgK],  
 $T_{11}$  – temperatura na wlocie czynnika „1” [K],  
 $T_{12}$  – temperatura na wylocie czynnika „1” [K],  
 $T_{22}$  – temperatura na wylocie czynnika „2” [K],  
 $T_{21}$  – temperatura na wlocie czynnika „2” [K].

#### 4.2. Efektywność budowy ujęcia geotermalnego

Wstępną miarą efektywności budowy ujęcia geotermalnego może być wartość wskaźnika kosztów  $\kappa$ , będącego stosunkiem nakładów na wykonanie prac podziemnych do nominalnej mocy cieplnej strumienia wydobywanej wody geotermalnej [5, 24]:

$$\kappa = \frac{K_o}{N_t}$$

gdzie:

$K_o$  – koszt wykonania otworów,

$N_t$  – nominalna moc cieplna ujęcia geotermalnego [MW].

Koszt wykonania otworów zależy od głębokości położenia warstwy wodonośnej  $H$ :

$$K_o = a \cdot \exp(bH)$$

gdzie:

$H$  – głębokość otworu [m],

$a, b$  – wskaźnik kosztowe, których wartość zależy m.in. od struktury i twardości skał w miejscu wiercenia.

Wskaźnik  $\kappa$  charakteryzuje koszt wykonania otworów dla planowanej ciepłowni o założonej mocy cieplnej. Dalsze nakłady będą związane ze sposobem odbioru ciepła z wody geotermalnej w ciepłowni i jego dystrybucji. Wielkość i koszt instalacji naziemnych ujęcia geotermalnego zależą w dużej mierze od temperatury i stopnia mineralizacji wody geotermalnej. Niska temperatura wymaga budowy instalacji wspomagających źródło geotermalne (kotły szczytowe, pompy grzejne), co podraża inwestycję. Z kolei silnie mineralizowana woda jest zwykle agresywna chemicznie, dodatkowo podczas dekompresji i wychładzania, wytrącają się sole mineralne (kolmatacja otworu zatłaczającego). Zapobieganie tym szkodliwym procesom wymaga zastosowania

wania odpornych na korozję, a więc droższych materiałów oraz stosowania filtrów i inhibitorów ograniczających zamulanie złoża [5].

## 5. Gospodarcze wykorzystanie energii geotermalnej

Energia geotermalna od zarania dziejów wykorzystywana jest przez człowieka. Już z neolitu pochodzą liczne znaleziska archeologiczne świadczące o korzystaniu przez człowieka z gorących źródeł. Ówczesni ludzie z chęcią osiedlali się w pobliżu miejsc aktywności geotermalnej, gdyż mogli tam gotować, kąpać się czy wykorzystywać produkty pochodzenia hydrotermalnego i wulkanicznego. Kąpieli w ciepłych źródłach zażywano na wyspach japońskich już 11000 lat temu. Gorące źródła były częścią obrzędów religijnych i wierzeń wielu krajów, m.in. Egiptu, Palestyny i Izraela [25].

Wykorzystanie energii geotermalnej na świecie, według Mokrzyckiego [26]:

- ciepłownictwo: 37%,
- kąpieliska, pływalnie, balneologia: 22%,
- pompy ciepła do chłodzenia i ogrzewania: 14%,
- szklarnie: 12%,
- hodowla ryb: 8% ,oraz
- przemysł : 7%.

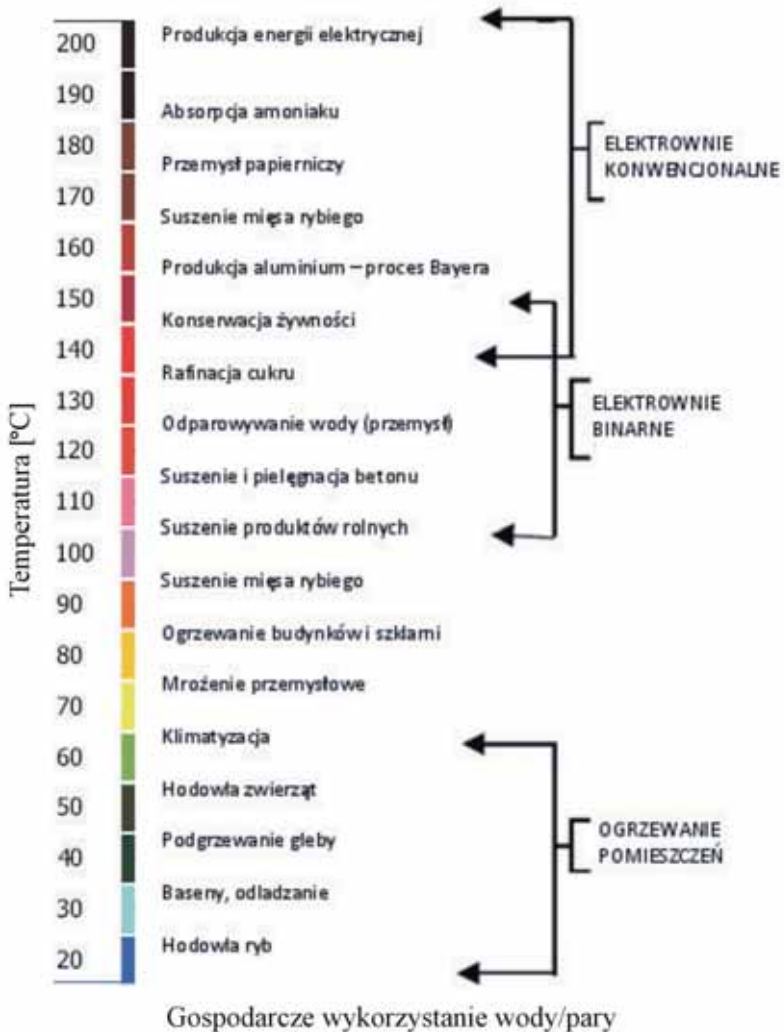
Według Lunda i współpracowników [27], największa ilość energii geotermalnej wykorzystywana jest do celów grzewczych. Budynki ogrzewane wodą geotermalną buduje się zazwyczaj w pobliżu eksploatowanych źródeł, aby uniknąć strat ciepła podczas transportu. Czasem jednak transportuje się wodę za pomocą specjalnych rurociągów na dalsze odległości. Fridleifsson [28] podaje, iż najdłuższy tego typu rurociąg na świecie znajduje się w Islandii, a jego długość wynosi 63 km.

Najważniejszym czynnikiem decydującym o zastosowaniu wody geotermalnej jest jej temperatura. Na rysunku 14 przedstawiono diagram Lindala obrazujący zastosowanie wody/pary w zależności od jej temperatury [29, 30].

Przy wyborze metody pozyskiwania energii elektrycznej wpływ mają przede wszystkim parametry wody wydobywanej z wnętrza Ziemi, czyli jej temperatura, stan termodynamiczny i skład chemiczny. Istnieją dwa podstawowe rodzaje elektrowni geotermalnych:

- z bezpośrednim odparowaniem wody geotermalnej – systemy tego typu stosowane są w układzie z rozprężaczem jednostopniowym i dwustopniowym lub kierowaniem pary bezpośrednio do turbiny parowej skąd po ekspansji płynie do skraplacza,
- elektrownie dwuczynnikowe (binarne). Gorąca woda jest kierowana do wymiennika ciepła (parownika), który spełnia rolę kotła parowe-

go dla obiegu z czynnikiem roboczym o niskiej temperaturze wrzenia np. freon o temperaturze wrzenia  $-33^{\circ}\text{C}$  [31].



Rys. 14. Diagram Lindala (opracowanie własne za [29, 30])

Kaskadowy system odbioru ciepła to najlepszy sposób wykorzystania energii wody [15]. Przykładowy, wielostopniowy sposób wykorzystania energii geotermalnej przedstawiono na rysunku 15.



Rys. 15. Kaskadowy system odbioru ciepła

Kaskadowe wykorzystanie energii geotermalnej znacząco obniża koszty pozyskania energii geotermalnej i od dawna stosowane jest w wielu krajach. Przykładowo, w Rotoura (Nowa Zelandia) po wykorzystaniu wody i pary geotermalnej do ogrzewania domów, ciepło jest wykorzystywane do ogrzewania basenów czy gotowania na parze (parnika). Z kolei w dobrze znanym fanom skoków narciarskich Sapporo, woda wykorzystana w urządzeniach do topnienia śniegu na chodnikach i jezdniach o temperaturze wyjściowej 65°C jest powtórnie używana do kąpieli [32].

## 6. Literatura

1. Ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. „Prawo geologiczne i górnicze” Dz. U. 2005 r., Nr 228, poz. 1947 (z późniejszymi zmianami).
2. W.M. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa, 2007.
3. R. Sobański, M. Kabat, W. Nowak, *Jak pozyskać ciepło z Ziemi?*, Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa 2000.
4. A. Oniszk-Popławska, *Ciepło z wnętrza Ziemi*, EC BREC/IMBER, Gdańsk-Warszawa 2003.
5. W. Nowak, R. Sobański, M. Kabat, T. Kujawa, *Systemy pozyskiwania i wykorzystania energii geotermicznej*, Wyd. Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2000.
6. <http://pl.wikipedia.org/wiki> (wejście 29.10.08).
7. [www.mos.gov.pl](http://www.mos.gov.pl) (wejście 26.10.10).
8. <http://hbrtt.site90.com/index.php> (wejście 26.10.10).

9. <http://www.nps.gov/yell/index.htm> (wejście 05.07.10).
10. <http://www.nps.gov/yell/index.htm> (wejście 20.10.10).
11. <http://www.yellowstonepark.com> (wejście 20.10.10).
12. W. Mizerski, *Słownik geologiczny*, PWN, Warszawa 2002.
13. R. Wichowski, *Wybrane zagadnienia wykorzystania energii geotermalnej w świecie i Europie*, Polityka energetyczna, t. 4, zeszyt 1, 2001.
14. E. Mokrzycki, *Podstawy gospodarki surowcami energetycznymi*, RGH Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2005.
15. Ł. Mruk, *Analiza możliwości wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii w obiekcie budowlanym*, praca dyplomowa, Kraków 2004.
16. B. Kępińska, *Current state and prospects of geothermal energy implementation in Poland*, *Applied Energy* 74, 43–51, 2003.
17. W. Górecki *et al.*, *Geothermal-energy resources in the Poland Lowlands and the possibility of their industrial utilization*, *Applied Energy* 74, 53–64, 2003.
18. J. Szewczyk, *Geofizyczne oraz hydrogeologiczne warunki pozyskiwania energii geotermicznej w Polsce*, *Przegląd Geologiczny* 58(7), 566–573, 2010.
19. <http://baza.pgi.gov.pl> (wejście 12.10.10).
20. J. Zimny, *Geoenergetyka w Europie i w Polsce*, *Nasz Dziennik* 230 (3247), 1 października 2008.
21. J. Sokołowski (red.), *Prowincje i baseny geotermalne Polski*, PAN Centrum Podstawowych Problemów Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Kraków 1995.
22. J. Sokołowski, *Prognozy rozwoju geoenergetyki w świecie, Europie i Polsce*, *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia* 1–2, 3–21, 1998 r.
23. W. Górecki, *Atlas zasobów energii geotermalnej na Niżu Polskim*, Wyd. Towarzystwo Geosynoptyków GEOS, Kraków 1995.
24. S. Wiśniewski, T. Wiśniewski, *Wymiana ciepła*, WNT, Warszawa 2000.
25. B. Kępińska, A. Łowczowska, *Wody geotermalne w lecznictwie, rekreacji i turystyce*, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2002.
26. E. Mokrzycki, *Podstawy gospodarki surowcami energetycznymi*, RGH Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2005.
27. J.W. Lund, D.H. Freeston, T.L. Boyd, *Direct application of geothermal energy: 2005 Worldwide review*, *Geothermics* 34, 691–727, 2005.
28. I.G. Fridleifsson, *Geothermal energy for the benefit of the people*, *Renewable&Sustainable Energy Reviews* 5, 299–312, 2001.
29. J.S. Gudmundsson, J.W. Lund, *Direct uses of earth heat*, *International Journal of Energy Research* 9(3), 345–375, 1985.
30. J.W. Lund, *Direct heat utilization of geothermal resources*, 6-9, *GHC BULLETIN*, August 1996.
31. M. Pawlik, F. Strzelczyk, *Elektrownie*, WNT, Warszawa 2009.
32. J.W. Lund, *Bezpośrednie wykorzystanie energii geotermalnej*, *Międzynarodowe Dni Geotermalne. POLSKA* 2004, 33–50, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2004.



# CIEPŁOWNIE GEOTERMALNE W POLSCE

## 1. Wprowadzenie

W połowie lat osiemdziesiątych XX wieku rozpoczęto prace badawcze i wdrożeniowe nad zagospodarowaniem energii geotermalnej w ciepłownictwie m.in. do ogrzewania pomieszczeń, a także w rolnictwie i hodowli ryb. Doprowadziły one do uruchomienia geotermalnych zakładów ciepłowniczych w Bańskiej Niżnej, Pyrzycach, Uniejowie, Mszczonowie i Stargardzie Szczecińskim. Pomimo niskiej temperatury (17°C) autorzy monografii jako zakład geotermalny zaliczyli również obiekt w Słomnikach.



Rys. 1. Czynne zakłady geotermalne (stan na wrzesień 2010)

## 2. Bańska Niżna (Geotermia Podhalańska)

Źródło, którego wody o temperaturze 20°C wykorzystywano w basenie kąpielowym, znane było okolicach Zakopanego już w XIX wieku [1]. Pierwszy głęboki otwór badawczy powstał w Zakopanem w 1963 r., zaś w latach 1970–1980 wykonano kolejne odwierty. Przełomowym krokiem dla rozwoju geotermii na Podhalu było wykonanie w 1981 r. otworu Bańska-1 o głębokości 5263 m. Natężenie wypływu artezyjskiego wynosiło 60 m<sup>3</sup>/h, temperatura wody na wypływie to 72°C, mineralizacja ogólna 3 g/dm<sup>3</sup>, statyczne ciśnienie głowicowe 27 barów [2].

W latach 1989–1994 wybudowano pierwszy w Polsce Doświadczalny Zakład Geotermalny Bańska Niżna-Biały Dunajec, zaś w sezonie grzewczym 1993/94 do Zakładu podłączono pierwsze sześć budynków we wsi Bańska Niżna oraz system kaskadowego wykorzystania energii geotermalnej [3].



Rys. 2. Geotermia Podhalańska oraz Termy Podhalańskie (fot. B. Igliński)

W grudniu 1993 roku zawiązano spółkę „Geotermia Podhalańska”, która została wpisana do rejestru sądowego w lutym 1994 i tym samym powsta-

ła pierwsza ciepłownia geotermalna w Polsce [3]. W 1995 roku wybudowano sieć dystrybucyjną w Białym Dunajcu, a sprzedaż ciepła w skali roku osiągnęła poziom 18 TJ. W 1996 roku rozpoczęto budowę Ciepłowni Geotermalnej w Bańskiej Niżnej wraz z trzy i pół kilometrową linią przesyłową do Zakopanego. Do sieci ciepłowniczej przyłączyło się 27 odbiorców z Białego Dunajca. W 1997 roku zakończono wiercenia otworów Bańska PGP-1 i Biały Dunajec PGP-2. W następnym roku nastąpiła fuzja przedsiębiorstw PEC Tatra i Geotermia Podhalańska, w wyniku której powstało Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Geotermia Podhalańska, jak również powstała Kotłownia Szczytowa w Zakopanem opalana gazem ziemnym. W 2000 roku Geotermia Podhalańska posiadała już 212 odbiorców indywidualnych [4, 5].

W 2001 roku zakończono budowę magistrali ciepłowniczej Bańska Niżna-Zakopane i uruchomiono ciepłownię geotermalną w Bańskiej, dzięki czemu, zlikwidowana została w Zakopanem ostatnia kotłownia opalana koksem. W 2001 roku rozpoczęto również budowę Parku Wodnego w Zakopanem, zaś w 2004 roku zaczęto dostarczać ciepło do pierwszego otwartego basenu kąpielowego na Polanie Szymoszkowej. W 2003 roku sprzedaż ciepła przekroczyła 200 TJ. W 2006 roku działalność rozpoczął Park Wodny w Zakopanem, który jest największym odbiorcą ciepła od PEC Geotermia Podhalańska [4, 5, 6].



Rys. 3. Hala ciepłowni geotermalnej w Bańskiej Niżnej (fot. B. Igliński)

W 2007 roku ciepłownia geotermalna pozyskała kolejnego znaczącego odbiorcę, jakim jest Kompleks Rekreacyjny Termy Podhalańskie (rysunek 2). Uruchomiono także chłodnie wentylatorowe (rysunek 4), które pozwalają na częściowy zrzut wód termalnych do cieku powierzchniowego i zwiększenie mocy produkcyjnej. Do 2019 roku przedłużona została koncesja na wytwarzanie, przesyłanie i dystrybucję ciepła przez PEC Geotermia Podhalańska [5, 6].



Rys. 4. Chłodnie wentylatorowe, Bańska Niżna (fot. B. Igliński)

Źródłem ciepła dla PEC Geotermii Podhalańskiej są wody termalne wydobywane z wapieni i dolomitów triasu środkowego oraz eocenu numulitowego występujące w przedziale głębokościowym od 2200 do 3100 metrów. Wody te są ujmowane dwoma otworami produkcyjnymi: Bańska IG-1 (rysunek 5) i Bańska PGP-1 oraz zatłaczane dwoma otworami chłonnymi: Biały Dunajec PAN-1 i Biały Dunajec PGP. Zatwierdzone zasoby eksploatacyjne dla otworu Bańska PGP-1 to 550 m<sup>3</sup>/h, dla otworu Bańska IG-1 120 m<sup>3</sup>/h, natomiast zasoby dyspozycyjne to 23600 m<sup>3</sup>/dobę. Temperatura wód na wypływie osiąga 82–87°C, a ciśnienie na głowicy ma wartość 2,7 MPa, mineralizacja wód nie przekracza 3 g/dm<sup>3</sup> [6, 7, 8]. W tabeli 1 przedstawiono najważniejsze dane dotyczące odwiertów geotermalnych eksploatowanych do celów ciepłowniczych Podhala [1].



Rys. 5. Otwór wydobywczy Bańska IG-1 (fot. B. Igliński)

Tabela 1. Najważniejsze dane dotyczące odwiertów geotermalnych eksploatowanych do celów ciepłowniczych Podhala [1]

Nazwa odwiertu	Bańska IG-1	Bańska PGP-1	Biały Dunajec PAN-1	Biały Dunajec PGP-2
Rok/lata wiercenia	1979–1981	1997	1989	1997–1998
Rok rozpoczęcia eksploatacji	1992	2001	1992	2001
Rola w systemie	produkcyjny		chłonny	
Głębokość całkowita [m]	5261	3242	2394	2450
Litologia skal zbiornikowych	zlepience węglanowe, wapienie, dolomity			
Maksymalna produkcja [m <sup>3</sup> /h]	120	550	–	–
Temperatura wody [°C]	82	87	–	–
Ciśnienie głowicowe [MPa]	26 (statyczne)	27 (statyczne)	55–60 (zatlaczane)	
Mineralizacja ogólna [g/dm <sup>3</sup> ]	2,5	2,7	–	–
Maksymalna chłonność [m <sup>3</sup> /h]	–	–	200	400

Wody ujmowane otworem Bańska PGP-1 i Bańska IG-1 są wodami siarczanowo-chlorkowo-sodowo-wapniowymi. Wody termalne wydobywane są

na powierzchnię bez użycia pomp, a następnie kierowane do płytowych wymienników ciepła (rysunek 6). Na wymiennikach woda termalna oddaje ciepło wodzie sieciowej, która znajduje się w niezależnym obiegu. Schłodzona woda termalna wędruje rurociągiem do stacji pomp, gdzie następnie jest załączana do horyzontu wodonośnego. Szacowana moc źródła geotermalnego wynosi  $15,5 \text{ MW}_t$  [3, 4, 5, 6, 7, 8].



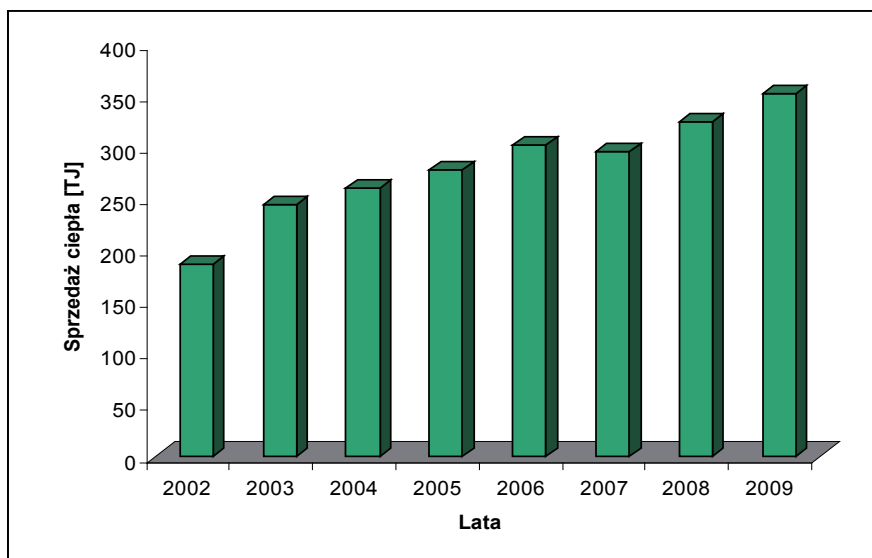
Rys. 6. Wymienniki ciepła, Bańska Niżna (fot. B. Igliński)

Sieć ciepłownicza składa się z rurociągu centralnego, pompowni wody sieciowej i trzech przepompowni z układami redukcji ciśnień w układzie, które niwelują negatywny wpływ dużych różnic położenia nad poziomem morza poszczególnych fragmentów ciepłociągu. Rurociąg centralny z Bańskiej Niżnej do Zakopanego liczy sobie 15 km długości, straty ciepła na tym odcinku nie są większe niż  $2\text{--}3^\circ\text{C}$ . Źródło geotermalne jest uzupełniane źródłem szczytowym w skład którego wchodzi dwa kotły gazowe z ekonomizerami (każdy o mocy  $10 \text{ MW}_t$ ), kocioł gazowo-olejowy o mocy  $15 \text{ MW}_t$  oraz trzy agregaty gazowe, kogeneracyjne o łącznej mocy  $2,1 \text{ MW}_t$ . Sumaryczna moc źródła szczytowego wynosi  $39,1 \text{ MW}_t$  [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Obecnie, prowadzone są badania [9] nad możliwością odsalania wody geotermalnej oraz jej późniejszym wykorzystywaniem do celów gospodarczych. Uzyskany w procesie odwróconej osmozy permeat (woda o bardzo niskiej mineralizacji) może zostać wykorzystany do uzupełniania ubytków wód technologicznych sieci ciepłowniczej bądź w celach komercyjnych. Sprzedaż wody uzdatnionej w gminie Szafary jest jak najbardziej pożądana, gdyż obecnie jej mieszkańcy są zaopatrywani w wodę poprzez nieliczne studnie, to rozwiązanie pozwala dostarczyć wodę do 20% gospodarstw.

### 2.1. Efekty ekonomiczno-ekologiczne

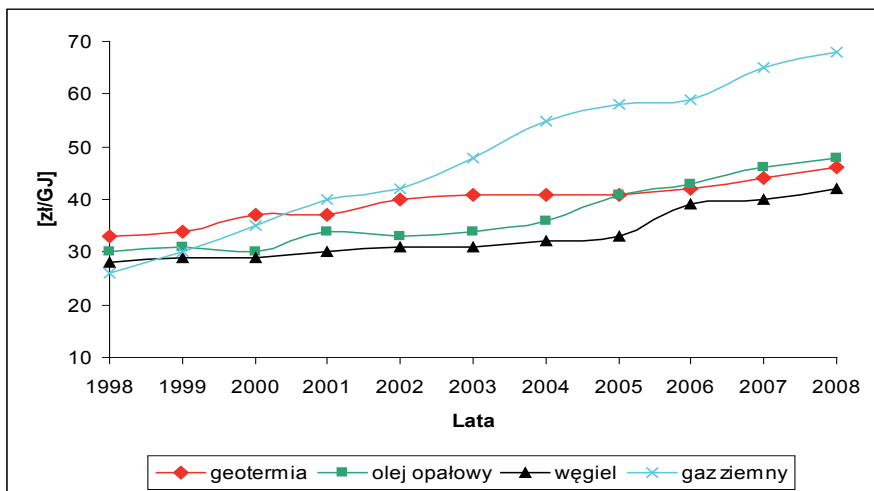
Ilość sprzedawanego ciepła geotermalnego wzrasta z każdym rokiem (rysunek 7).



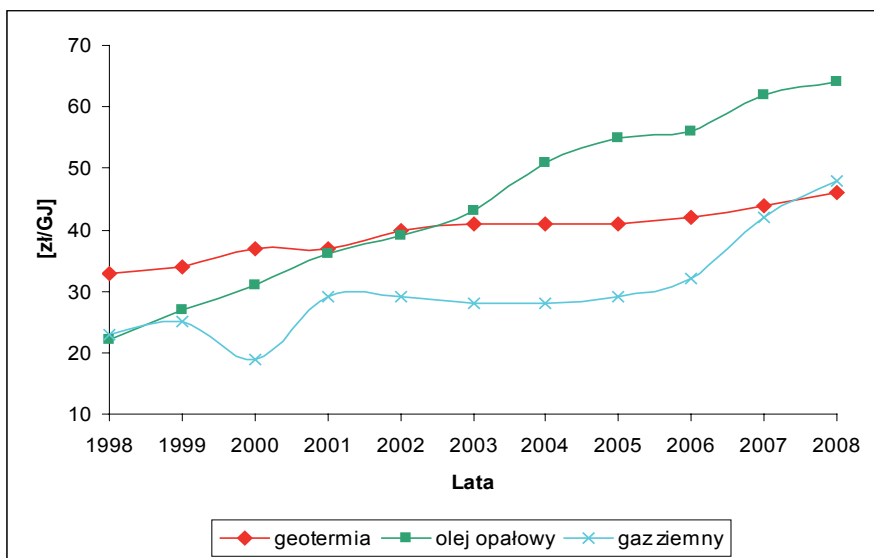
Rys. 7. Sprzedaż ciepła w latach 2002–2009, opracowanie własne za [6]

Aspekty ekonomiczne ogrzewania geotermalnego są zwykle najważniejsze dla przeciętnego odbiorcy. Od lat cena netto za 1 GJ ciepła utrzymuje się na podobnym poziomie zarówno dla klientów indywidualnych, jak i wielkoskalowych. Od 2007 roku z ciepłem geotermalnym (rysunki 8, 9) może konkurować tylko ciepło uzyskane ze spalania węgla kamiennego (odbiorcy indywidualni) czy gazu (odbiorcy wielkoskalowi). Jeżeli jednak byśmy uwzględnili

wszystkie koszty (codzienna obsługa pieca węglowego, konserwacja pieca, czyszczenie komina, koszty materiału na rozpałkę, koszty wywozu popiołu, itp), to geotermia jest najtańsza.



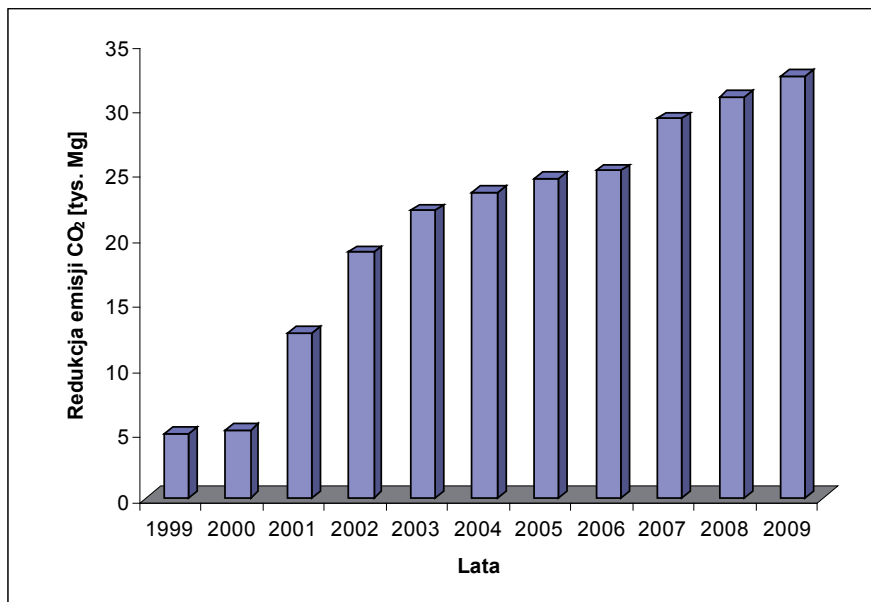
Rys. 8. Porównanie cen netto dla klientów indywidualnych za 1 GJ dla różnych źródeł energii, opracowanie własne za [6]



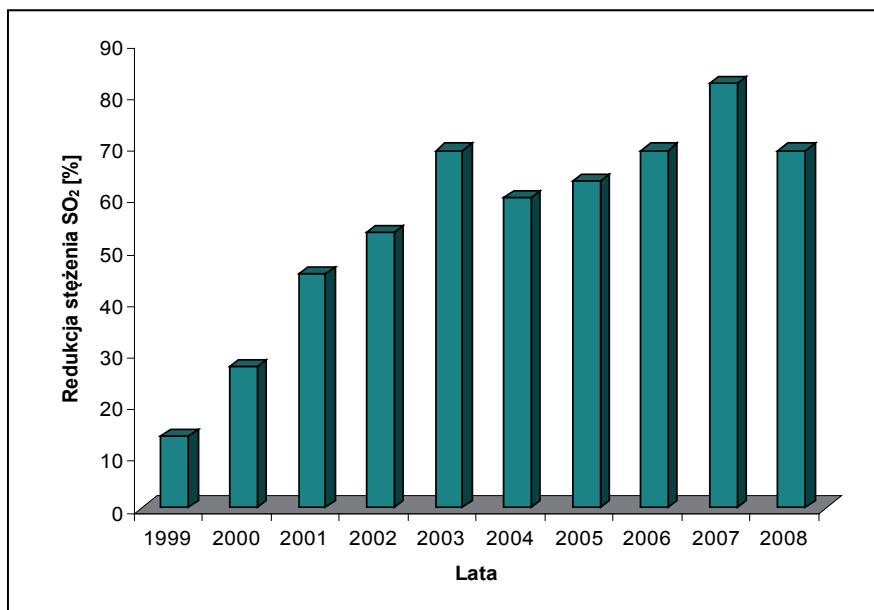
Rys. 9. Porównanie cen netto dla klientów wielkoskalowych za 1 GJ dla różnych źródeł energii, opracowanie własne za [6]

Oprócz niskiej ceny, ogrzewanie ciepłem pochodzącym z wnętrza Ziemi posiada również inne zalety:

- wygoda w obsłudze – wymiennik ciepła jest urządzeniem praktycznie bezobsługowym – dzięki zastosowaniu sterowania pogodowego pobór ciepła dostosowany jest do zmian temperatury zewnętrznej,
- zbędność urządzeń wentylacyjnych tj wentylator czy komin – jedynym warunkiem jest posiadanie wewnętrznej instalacji CO (i CWU); wymiennik ciepła zajmuje niewiele miejsca i nie emituje hałasu,
- bezpieczeństwo – dotychczasowe doświadczenia wskazują na bezawaryjność geotermalnego systemu ciepłowniczego,
- ochrona środowiska – wdrożenie systemu geotermalnego na Podhalu pozwala na znaczne ograniczenie emisji zanieczyszczeń zwłaszcza w sezonie zimowym (rysunki 10–11), oraz
- rozwijająca się gałąź „przemysłu” rekreacyjno-balneologicznego przyciąga coraz więcej turystów w polskie Tatry, pieniądze przez nich „pozostawione” zasilają budżety domowe mieszkańców i gmin [6, 7, 8].



Rys. 10. Redukcja emisji CO<sub>2</sub> w latach 1999-2009 w stosunku do średniej emisji w latach 1994–1998, opracowanie własne za [6]



Rys. 11. Redukcja emisji SO<sub>2</sub> w latach 1999–2009 w stosunku do średniej emisji w latach 1994–1998, opracowanie własne za [6]

### 3. Mszczonów (Geotermia Mazowiecka)

W czerwcu 1994 roku z inicjatywy władz samorządowych powstała spółka akcyjna „Geotermia żyrardowska”. Rok później, w wyniku dużego zainteresowania eksploatacją wód geotermalnych, rozszerzyła swoją działalność, inwestując w dwóch innych miastach byłego województwa skierniewickiego: Mszczonowie oraz Skierniewicach. W konsekwencji zmieniono nazwę na „Geotermia Mazowiecka” S.A, której głównym zadaniem była budowa trzeciego w Polsce (po Podhalu i Pyrzycach) zakładu geotermalnego [3]. Projekt przewidywał eksploatację wody ze zrekonstruowanego odwiertu Mszczonów IG-1, który ujmuje wody o temperaturze 40,5°C z piaskowców kredy dolnej. Woda termalna ma charakter wodorowęglanowo-chlorkowo-sodowo-wapniowy i mineralizację na poziomie 610 mg/dm<sup>3</sup>, zawiera także wolny dwutlenek węgla. Wydajność eksploatacyjna a jednocześnie wielkość zasobów eksploatacyjnych dla otworu Mszczonów IG-1 wynosi 60 m<sup>3</sup>/h [10, 11].



Rys. 12. Geotermia Mazowiecka (fot. G. Piechota)

Geotermia Mszczonów ma unikatowy charakter w skali światowej polegający na tym, iż woda termalna po wykorzystaniu energetycznym przekazywana jest do wodociągu, jako woda pitna. Pomimo niezbyt wysokiej temperatury na wypływie, system ciepłowniczy wykorzystujący energię wód termalnych zapewnia energię odbiorcom do chwili spadku temperatury powietrza do  $-5^{\circ}\text{C}$ . Woda termalna z otworu wydobywana jest, podobnie jak w Pырzycach, za pomocą agregatu pompowego. Całkowita moc zainstalowana w ciepłowni mszczonowskiej to 7,4 MW, z czego źródło geotermalne ma moc 1,1 MW, absorpcyjna pompa ciepła moc 2,7 MW, a kotły gazowe 3,6 MW [10, 11].

### 3.1. Efekt ekologiczny

Ciepłownia geotermalna zaopatruje w ciepło odbiorców z Mszczonowa, którzy do tej pory korzystali z usług trzech kotłowni węglowych. Kotłownie te rokrocznie emitowały do atmosfery 15 Mg związków azotu, 60 Mg związków siarki, 9700 Mg dwutlenku węgla oraz 145 Mg pyłów. Zastąpienie ich energią wód termalnych oraz ze spalania gazu ziemnego pozwoliło zredukować emisję szkodliwych związków w stosunku do obecnej sytuacji energetycznej o:

- $\text{SO}_2$  100%,
- $\text{NO}_x$  82%,
- CO 98%,
- $\text{CO}_2$  75%,

- sadza i pył 100% [11].

Warto nadmienić, że Geotermia Mazowiecka posiada ciepłownię „Chodków” na biomasę [10]. Wody geotermalne wykorzystywane w Termach Mszczonów [12] przyniosły spore ożywienie gospodarcze w regionie.

## 4. Słomniki

Instalacja wykorzystująca ciepło z wód w niewielkiej miejscowości Słomniki koło Krakowa w świetle przepisów nie jest instalacją geotermalną, ponieważ ujmuje wody o temperaturze 17°C. Uruchomiona w 2002 roku instalacja opiera swe funkcjonowanie na otworze o głębokości 311 metrów ujmującym słodkie wody z piaskowców wieku kredowego o samowypływie 50 m<sup>3</sup>/h. Ciepłownia działa w technologii pompy ciepła wspomaganą kotłami olejowymi i gazowymi. Cały system posiada maksymalną moc 1,8 MW<sub>t</sub> z czego 320 kW<sub>t</sub> pochodzi z pompy ciepła. Ciepło z tych źródeł dostarczane jest do osiedlowych sieci centralnego ogrzewania oraz do budynków użyteczności publicznej [3]. Woda po oddaniu ciepła zatłaczana jest do sieci wodociągowej.

### 4.1. Efekt ekologiczny

Mimo, że instalacja w Słomnikach jest niewielka, to pozwala w ciągu roku ograniczyć emisję:

- CO<sub>2</sub> o 125,3 Mg,
- CO o 24 kg,
- NO<sub>x</sub> o 72 kg,
- pyłów o 2 kg,
- węglowodorów aromatycznych o 3 kg, oraz
- węglowodorów alifatycznych o 6 kg [13].

Reasumując, nawet tak niewielka instalacja wpływa korzystnie na środowisko, a woda geotermalna wykorzystywana jest później jako woda pitna.

## 5. Pyrzyce

W 1988 roku władze Pyrzyce przystąpiły do projektowania centralnej ciepłowni węglowej wraz z siecią przesyłową, co miało zmniejszyć emisję zanieczyszczeń oraz zastosować bardziej nowoczesny i ekonomiczny park maszynowy. W roku 1991 po zapoznaniu się z funkcjonowaniem ciepłowni

geotermalnej w Thisted (Dania), a następnie po rozpoznaniu warunków geologicznych na terenie gminy, rozważono możliwość budowy takiej ciepłowni w Pyrzycach. Jeszcze w lipcu 1992 roku wykonano próbny odwiert badawczy GT-1, po czym gmina Pyrzyce podpisała kontrakt z firmą Scandinavian Energy Group na transfer technologii [14, 15, 16].

We wrześniu 1992 roku przystąpiono do prac projektowych oraz do wykonania następnych trzech otworów geotermalnych, a w połowie 1993 roku rozpoczęto realizację instalacji geotermalnej i obiektów kubaturowych oraz ciepłociągów w kierunku miasta. Zrealizowany w latach 1992–1997 system ciepłowniczy obejmuje:

- ciepłownię geotermalno-gazową o mocy szczytowej 48 MWt,
- sieć ciepłowniczą z rur preizolowanych [15 km],
- sieć sterowniczo-sygnalizacyjną [28 km], oraz
- 66 węzłów ciepłych [w pełni zautomatyzowanych].

Koszt inwestycji zamknął się kwotą 60,6 mln PLN. Ciepłownia geotermalna składa się z trzech głównych instalacji: obiegu wody geotermalnej, obiegu wody sieciowej oraz obiegu wody wysokotemperaturowej [14, 15, 16].

Głębokość odwiertów geotermalnych wynosi około 1620 m. Średnia temperatura wody w złożu wynosi około 64°C. Statyczny poziom zwierciadła wody w otworze stabilizuje się na głębokości 34 m poniżej poziomu terenu. Z tego powodu woda geotermalna wydobywana jest za pomocą wielostopniowych pomp głębinowych zainstalowanych na głębokości 110 m [17].



Rys. 13. Hala ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach (fot. B. Igliński)

Pompy zasilane są napięciem rzędu 2 kV i sterowane poprzez przetwornice częstotliwości, które dostosowują wydajność pompy do aktualnego zapotrzebowania na ciepło (90–170 m<sup>3</sup>/h z jednego otworu). Wydobyta woda geotermalna o temperaturze 61°C po przejściu przez filtry, kierowana jest na wymiennik I-go stopnia, gdzie oddaje ciepło powracającej z miasta wodzie sieciowej. W wymienniku woda sieciowa podgrzewa się w zależności od warunków od 40°C do 60°C. Całkowita moc cieplna wymiennika przy przepływie obliczeniowym wynosi 7,2 MW. W celu lepszego wykorzystania energii cieplnej wody geotermalnej kierowana jest ona do wymiennika II-go stopnia, gdzie schładza się do temperatury około 26°C. Jest to możliwe dzięki wcześniejszemu schłodzeniu części powrotnej wody sieciowej w parowniku absorpcyjnej pompy ciepłej do 25°C. Po wyjściu z drugiego wymiennika woda geotermalna przechodzi przez drugą baterię filtrów i zatłaczana jest z powrotem do tej samej warstwy geologicznej z której została wydobyta, z tym iż otwory zatłaczające znajdują się w odległości około 1,5 km od otworów produkcyjnych [16, 17, 18].



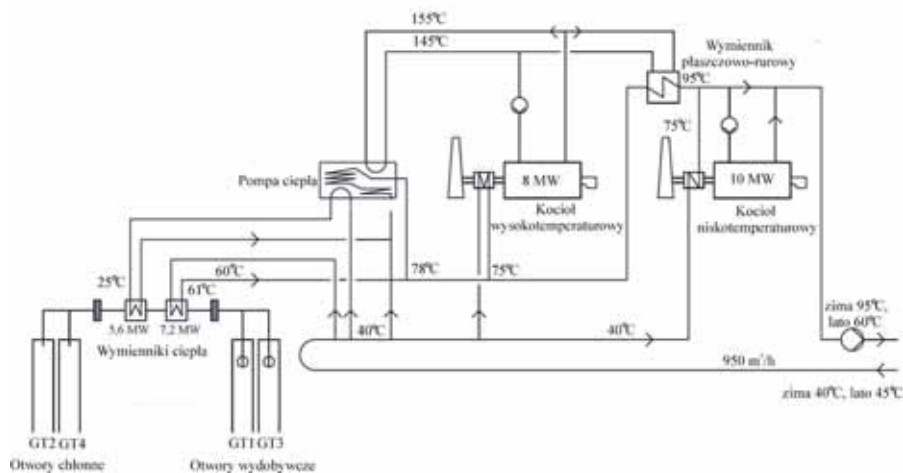
Rys. 14. Empiryczne sprawdzanie ciepła geotermalnego, Pyrzyce (fot. B. Igliński)

Woda geotermalna charakteryzuje się dużym zasoleniem – około  $120 \text{ g/dm}^3$  – co powoduje, że w kontakcie z tlenem stanowi bardzo silnie korozyjne medium. W związku z tym rury okładzinowe otworów geotermalnych wykonane są z dodatkiem antykorozyjnym gwarantującym 30-letnią pracę. Z kolei płyty wymienników wykonane są w całości z tytanu, natomiast rurociągi przesyłowe ze stali węglowej o niskiej zawartości siarki i fosforu ( $<0,02\%$ ). Podczas postoju pomp głębinowych, w cały obieg geotermalny wtłacza się azot, aby wytworzyć poduszkę azotową, która zapobiega dostaniu się powietrza do rurociągu a co za tym idzie, jego korozji. Zapobiega to powstawaniu produktów korozji zagrażających zdolności chłonnej otworów zatłaczających [16, 17, 18].

Drugim ważnym obiegiem jest obieg wody sieciowej. Powrotna woda sieciowa (wracająca z miasta) rozdziela się na kilka równoległych strumieni (rysunek 15). Jeden płynie do wymiennika I-go stopnia, drugi do parownika pompy absorpcyjnej połączonej z wymiennikiem II-go stopnia, a następnie płyną do ekonomizerów gazowych kotłów wysoko i nisko temperaturowych (aby tam odebrać ciepło pochodzące ze spalin wydobywających się z kotłów po spaleniu gazu – w ten sposób przez komin wydobywają się tylko schłodzone spaliny). Część strumienia wody sieciowej o temperaturze  $40^\circ\text{C}$  kierowana jest do absorbera i skraplacza pomp ciepłych, gdzie podgrzewana jest do temperatury  $78^\circ\text{C}$ . Woda wychodząca z pompy ciepłej miesza się z wodą sieciową podgrzaną w wymienniku geotermalnym I-go stopnia. W wyniku zmieszania kilku strumieni (z pompy ciepłej, z wymiennika I-go stopnia i ekonomizerów) otrzymuje się wodę o temperaturze około  $75^\circ\text{C}$ . W zależności od panującej temperatury zewnętrznej można ją skierować do miasta lub dalej podgrzewać do temperatury  $95^\circ\text{C}$  w wysokotemperaturowym wymienniku płaszczowo-rurowym i do temperatury  $100^\circ\text{C}$  w szczytowych kotłach niskotemperaturowych. Woda tłoczona jest do miasta za pośrednictwem dwóch równolegle pracujących pomp sieciowych wyposażonych w przetwornice częstotliwości, które umożliwiają prowadzenie płynnej regulacji ilościowej. Do tego obiegu zalicza się przepływowe wysokotemperaturowe kotły gazowe, pompy ciepłe i wymiennik płaszczowo-rurowy. Podstawowym zadaniem obiegu jest wyprodukowanie wody o temperaturze  $160^\circ\text{C}$  stanowiącej energię napędową do procesu desorpcji w pompach ciepłych. Wodę taką uzyskuje się z gazowych kotłów wysokotemperaturowych (łączna moc 20 MW) [14, 15, 16, 17, 18].

Woda sieciowa kierowana jest do wymiennikowych węzłów ciepłych, które zainstalowane zostały w miejscu starych kotłowni węglowych. Węzły ciepłe oparte są na płytowych wymiennikach ciepła, które pracują na potrzeby centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Wszystkie instalacje wewnętrzne c.o. zostały przerobione z systemu otwartego na zamknięty. Każdy wymiennik posiada regulator temperatury zasilania

c.o. oraz c.w.u., a wszystkie węzły o mocy powyżej 100 kW wyposażone są dodatkowo w regulatory pogodowe. Sieć ciepła o długości ok. 15,0 km jest w całości ułożona z rur preizolowanych z wewnętrznym systemem detekcji przecieków. Sieć ciepła jest siecią niskotemperaturową. Temperatura wody zasilającej waha się od 60°C latem do 95°C zimą. Zakładana temperatura wody powrotnej to 45°C latem i 40°C zimą [14, 15, 16, 17, 18].



Rys. 15. Schemat instalacji geotermalnej w Pyrzycach, opracowanie własne za [17]

Automatyka zastosowana w Pyrzycach opiera się na zaprogramowanym sterowaniu przy użyciu komputera PC. Wszystkie główne urządzenia technologiczne posiadają własne programowalne sterowniki logiczne (PLC) mogące działać jako samodzielne jednostki. Ponadto, każdy sterownik wyposażony jest w indywidualny panel sterowania za pomocą którego odpowiednia część systemu podlega nadzorowi. Wszystkie parametry technologiczne monitorowane są przez Centralny System Sterowania (CSS) zlokalizowany w budynku ciepłowni. W obiegu wody geotermalnej, każdy z czterech otworów wyposażony jest również w sterownik logiczny, który przesyła informację do CSS za pomocą sieci światłowodów. Zastosowanie światłowodów miało na celu szybkie i skuteczne przesyłanie danych, a co za tym idzie szybką reakcję całego systemu w przypadku wystąpienia stanów awaryjnych. Węzły ciepłe o mocy powyżej 100 kW połączone są z ciepłownią siecią sterowniczo-sygnałacyjną umożliwiającą ciągłe monitorowanie parametrów z poszczególnych węzłów (ciśnienie różnicowe, temperatura, przepływ, zapotrzebowanie i zużycie ciepła). Wszystkie informacje od odbiorców przesyłane są do CSS, który optymalizuje pracę ciepłowni [14, 15, 16, 17, 18].

Udział ciepła geotermalnego wynosi w przypadku Geotermii Pyrzyce około 60% całkowitej produkcji (40% energii cieplnej wytwarzane jest z gazu ziemnego). Geotermia charakteryzuje się bardzo wysokim udziałem amortyzacji w kosztach oraz bardzo niskim udziałem paliw. Wynika to z bardzo dużych nakładów poniesionych na realizację kosztownej instalacji geotermalnej oraz modernizację pozostałych elementów systemu ciepłowniczego tj. sieci magistralnej, przyłączy do byłych kotłowni, węzłów cieplnych z automatyką. Duże obciążenie kosztami amortyzacji i spłatami długów generuje wysoką cenę ciepła. Problemy podczas eksploatacji:

- kolmatacja otworów (w początkowym okresie) spowodowana ich bardzo długim postojem,
- liczne przecieki w instalacjach wewnętrznych odbiorców, zła ich regulacja oraz duże zanieczyszczenie,
- liczne zaniki zasilania energią elektryczną po stronie Zakładu Energetycznego,
- duże zróżnicowanie opłat w zależności od stanu technicznego budynków,
- edukacja mieszkańców w dziedzinie oszczędności energii cieplnej oraz działania automatyki (różna temperatura grzejników),
- konieczność uiszczania opłaty stałej za gaz, konkurencyjność,
- duże zróżnicowanie opłat i indywidualnego ogrzewania gazem,
- ciągła optymalizacja dostawy ciepła (w zależności od potrzeb odbiorcy), opomiarowanie dostawy na węzłach oraz zamontowanie przez Zarządców termoregulatorów obniżyło produkcję energii cieplnej o około 50%, w stosunku do założeń z 1991 r.,
- zagospodarowanie wolnej mocy,
- obsługa pożyczki z odpisów amortyzacyjnych [14, 15, 16, 17].

### *5.1. Korzyści dla środowiska i plany rozwoju*

Przed uruchomieniem ciepłowni, Pyrzyce ogrzewane były lokalnymi kotłowniami, które emitowały do atmosfery wiele zanieczyszczeń. W wyniku zastąpienia starych kotłowni nowoczesnym systemem ciepłowniczym uzyskano korzyści wynikające z wielokrotnego zmniejszenia się emisji zanieczyszczeń, w tabeli 2 przedstawiono, w jakim stopniu udało się ograniczyć emisję poszczególnych składników [17].

Solanka wydobywana w Pyrzycach dla celów grzewczych posiada właściwości lecznicze. Na podstawie wyników analiz stwierdzono, że jest to 11,56% hipertermalna woda chlorkowo-sodowa (solanka), bromkowa, jodkowa, żelazista, manganowa, borowa. Woda tego typu może być wykorzystana do

przygotowania kąpiele mineralnych oraz inhalacji po uprzednim rozcieńczeniu. Przy zastosowaniu odpowiednich rozwiązań technicznych mogą to być również otwarte baseny czynne przez cały rok. Z tymi właściwościami wody Geotermia wiąże pewne nadzieje na przyszłość. Jeśli znajdą się środki, można pomyśleć o balneologicznym wykorzystaniu solanki (rysunek 16) [17].

Tabela 2. Redukcja zanieczyszczeń po uruchomieniu Geotermii w Pyrzycach, opracowanie własne za [17]

Rodzaj emisji	Wielkość emisji przed inwestycją [Mg/rok]	Wielkość emisji po inwestycji [Mg/rok]	Redukcja [%]
Popioły lotne	241	0,02	99,99
SO <sub>2</sub>	1158	0	100
NO	263	7,57	97,12
CO	2760	0,43	99,99
CO <sub>2</sub>	85 938	3 096	96,40



Rys. 16. Makieta tężni solankowej, Pyrzyce (fot. B. Igliński)

## 6. Stargard Szczeciński

Geotermia Stargard Sp. z o.o. powstała 24 lutego 1999 roku, budowę ciepłowni geotermalnej zakończono w 2005 roku. Tego samego roku rozpoczęto produkcję ciepła i dostarczanie go do miejskiej sieci ciepłowniczej ze średnim przepływem wody geotermalnej 150 m<sup>3</sup>/h. Pod koniec roku zaobserwowano znaczny spadek przepływu (do 80 m<sup>3</sup>/h), wobec czego w styczniu dokonano czyszczenia otworu za pomocą airliftu – podnośnika gazowego [19,20].

W sezonie grzewczym 2006 ciepłownia geotermalna wyprodukowała 147.000 GJ energii, przy możliwościach produkcyjnych 340.000 GJ odpowiadających mocy 12 MW. Powodem zmniejszonej produkcji ciepła były wyłącznie warunki geologiczne, które uniemożliwiły zatłoczenie wody ze względu na duży opór stawiany przez otwór zatłaczający. Wobec tego w maju 2007 r. zdecydowano się na odwrócenie obiegu geotermalnego, tzn. pompowanie z otworu GT-2 i zatłaczanie do otworu GT-1 [20]. Nastąpiło istotne ograniczenie mocy cieplnej a także ilości ciepła odprowadzonego do miejskiego systemu ciepłowniczego [21]. W lipcu 2010 roku syndyk masy upadłościowej stargardzkiej geotermii podjął decyzję o wstrzymaniu wytwarzania ciepła, powodem była uszkodzona pompa zatłaczająca wykorzystaną ciepłą wodę z powrotem pod ziemię [22].

## 7. Uniejów

W 1978 r. firma poszukująca ropy naftowej i gazu ziemnego natrafiła w Uniejowie na gorące źródła wody. Powstał wówczas otwór hydrogeologiczny IGH-1 wykonany przez Państwowy Instytut Geologiczny [23, 24, 25]. W latach 1990–1991 powstały dwa kolejne odwierty geotermalne PIG/AGH-1 i PIG/AGH-2.

W 1999 r. Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Łodzi oraz Gmina Uniejów utworzyły spółkę z o.o. „Geotermia Uniejów”. Woda termalna wykorzystywana jest do:

- ogrzewania budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej,
- balneologii,
- podgrzewania murawy boiska piłkarskiego,
- jak również do rekreacji w ramach przedsięwzięcia Termy Uniejów prowadzonego przez PGK „Termy Uniejów” Sp. z o.o. (patrz rozdział „Wykorzystanie wód geotermalnych na cele balneologiczne i rekreacyjne w Polsce”) [23].

W tabeli 3 przedstawiono wybrane parametry wody z ujęcia PIG/AGH-2 w 2008 r. Odwiert ma głębokość 2000 m i wydajność 68,0 m<sup>3</sup>/h.

Tabela. 3. Wybrane parametry wody geotermalnej z ujęcia PIG/AGH-2 w Uniejowie [23, 24]

Parametr	Wartość	Parametr	Wartość
Barwa [mg Pt]	0	Smak	Słonawy
pH (22°C)	7,20	Przewodność elektryczna [S/cm]	12,06·10 <sup>-3</sup>
NH <sup>+</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	0,05	Na <sup>+</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	2300,00
K <sup>+</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	21,00	Ca <sup>2+</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	70,14
Mg <sup>2+</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	25,52	Sr <sup>2+</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	3,92
F <sup>-</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	0,65	Cl <sup>-</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	3686,80
Br <sup>-</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	1,80	I <sup>-</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	0,42
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	140,50	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	5,18

Jednym z najważniejszych zastosowań wód geotermalnych, realizowanym przez spółkę „Geotermia Uniejów” jest ogrzewanie miasta. Nowy system zastępuje 10 kotłowni lokalnych opalanych węglem oraz 160 kotłowni znajdujących się w domach jednorodzinnych. Instalacja kotłowni jest dwuczęściowa. Pierwsza to blok geotermalny, drugi zaś to blok „biomasowy” (wcześniej wykorzystywano blok „olejowy”), który składa się z dwóch kotłów opalanych zrębkami drzewnymi. Blok przeznaczony jest do dogrzewania wody sieciowej do wymaganej temperatury w okresach szczytowego zapotrzebowania na moc cieplną [24, 25].

Złoże, z którego czerpie się gorącą wodę w Uniejowie posiada warunki artezyjskie, a ciśnienie samowypływu wynosi 2,6 atm. Eksploatacja wód termalnych i odzysk ciepła odbywa się w systemie zamkniętym, tzn. wydobyta na powierzchnię woda po oddaniu ciepła wraca do wnętrza Ziemi. Po przejściu przez układ filtracyjny woda podziemna dostaje się do zestawu pięciu pomp o łącznej wydajności 120 m<sup>3</sup>/h. Następnie, tłoczona jest do wymienników centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej. Po oddaniu ciepła w wymiennikach, woda schłodzona do temperatury 40–45°C kierowana jest poprzez otwory chłonne PIG/AGH-1 i IGH-1 do tej samej warstwy wodonośnej. Ze względu na mineralizację woda termalna nie może uczestniczyć w obiegu sieciowym centralnego ogrzewania, stąd konieczność zainstalowania wymiennika ciepła jako urządzenia pośredniczącego. Stosowanie zamkniętego systemu odbioru ciepła z wód termalnych umożliwi utrzymanie na stałym poziomie takich parametrów złożowych jak wydajność, temperatura i ciśnienie. Ponadto, w trakcie oddawania ciepła wodzie obiegowej, woda termalna nie ma kontaktu z powietrzem atmosferycznym, dzięki czemu zachowana zostaje równowaga chemiczna i w konsekwencji warunki panujące w warstwie wodonośnej. W zastosowanym układzie wody geotermalne traktowane są

jako nośniki energii, nie są szczyptywalne, można więc mówić o eksploatacji energii, a nie wody (moc 3,2 MW<sub>g</sub>) [25, 26].



Rys. 17. Otwór wydobywczy PIG/AGH-2 w Uniejowie (fot. B. Igliński)



Rys. 18. Wymienniki ciepła, Uniejów (fot. B. Igliński)



Rys. 19. Odwiert chłonny IGH-1, Uniejów (fot. B. Igliński)

System dystrybucji ciepła to sieć rurociągów z preizolowanych rur stalowych o łącznej długości 10 km, wyposażona w indywidualne urządzenia pomiarowe i zawory. Ciepłownia oraz sieć ciepłna są sterowane i monitorowane

przez zintegrowany system komputerowy, ułatwiający pracę i zmniejszający straty energii. Z ciepła geotermalnego korzysta 2/3 mieszkańców Uniejowa. Oprócz odbiorców indywidualnych, z geotermii korzystają również odbiorcy zbiorowi: Termy Uniejów, szkoły, przedszkole, hala sportowa, budynki użytku publicznego [25].

### 7.1. Efekt ekologiczny

Korzystanie z energii geotermalnej w Uniejowie niesie za sobą duże korzyści dla środowiska. W tabeli 4 przedstawiono wielkość emisji zanieczyszczeń przed i po uruchomieniu ciepłowni geotermalnej oraz redukcję zanieczyszczeń. Warto zaznaczyć, że emisja zanieczyszczeń powodowana była spalaniem oleju opałowego w kotłowni szczytowej pracującej przy niskiej temperaturze zewnętrznej.

Tabela 4. Wielkość emisji zanieczyszczeń przed i po uruchomieniu ciepłowni geotermalnej w Uniejowie (geotermia wspomagana olejem opałowym), opracowanie własne za [26]

Zanieczyszczenie [Mg/rok]	Emisja przed powstaniem zakładu geotermalnego	Emisja po powstaniu zakładu geotermalnego	Redukcja [%]
CO <sub>2</sub>	5500	180	96,7
SO <sub>2</sub>	38,2	0,14	99,6
NO <sub>x</sub>	3,0	0,5	83,3
CO	300	0,05	99,9
Pył	135,0	0,28	99,8
Benzo[a]piren	0,06	0,00	100

Od sezonu grzewczego 2006/2007 w Uniejowie, zamiast pieców olejowych, działają piece na biomasę, dzięki czemu mieszkańcy Uniejowa korzystają wyłącznie z energii odnawialnej. Warto wspomnieć, że druga taka hybrydowa instalacja geotermalno-biomasowa znajduje się na Alasce [27, 28].

Obecnie w Uniejowie planowane jest uruchomienie pierwszej elektrowni geotermalnej [29]. Uniejów jest również na etapie uzyskania statusu uzdrowiska.



Rys. 20. Kocioł na biomasę, Uniejów (fot. B. Igliński)

## 8. Zakłady geotermalne w budowie

W Polsce powstało wiele projektów wykorzystania energii geotermalnej, kilka z nich jest na etapie zaawansowanej realizacji.

### *Geotermia Gostynin*

Bardzo zaawansowane prace trwają przy budowie zakładu geotermalnego w Gostyninie. W ramach przeprowadzonych w latach sześćdziesiątych XX w. prac wiertniczych, zostało wykonanych kilka otworów badawczych, szczególnie próby otworowe wykonane w otworach Gostynin IG-1/1a, Gostynin IG-3, Gostynin IG-3 wykazały, że korzystne warunki hydrogeotermalne

związane są głównie ze strefą kontaktu utworów jury środkowej i dolnej, który w rejonie miasta Gostynina występuje na głębokości około 2 km [30].

W rejonie Gostynina występują wody termalne o temperaturze sięgającej 60°C i wydajności do 200 m<sup>3</sup>/h. Woda o temperaturze 60°C jest wystarczająca, aby wykorzystać ją do celów ciepłowniczych. Analiza właściwości fizykochemicznych wód jury dolnej występujących w rejonie Gostynina wykazała, że w odniesieniu do kryteriów oceny właściwości naturalnych surowców leczniczych [31] istnieją przesłanki zaliczenia tych wód do mineralnych swoistych. Posiadają one wysoką mineralizację, temperaturę powyżej 20°C oraz zawartość jodu przekraczającą 1 mg/dm<sup>3</sup> (około 3–4 mg/dm<sup>3</sup>) [30, 32].

Władze samorządowe Gostynina opracowały plany powstania Ponadregionalnego Centrum Turystyki, Wypoczynku i Rekreacji. Centrum to będzie zajmować się prowadzeniem usług medycznych i paramedycznych w postaci kąpeli i inhalacji w chorobach dróg oddechowych, reumatycznych, ginekologicznych i dermatologicznych [32].

### *Geotermia Toruńska*

Fundacja Lux-Veritatis prowadzi budowę zakładu geotermalnego w Toruniu. Zostały wykonane dwa otwory produkcyjne. Toruń należy do obszaru bardzo bogatego w wody termalne o dużych potencjalnych zasobach energetycznych. Jako główny zbiornik wód termalnych należy uznać na tym terenie zbiornik jury dolnej. Jak pokazały dotychczasowe badania prowadzone od lat na tym terenie, można się spodziewać tam również korzystnej wydajności i wysokiej temperatury ujmowanych wód termalnych. W związku z tym należy mieć nadzieję, że inwestor planujący na wstępnym etapie wykorzystanie energii wód termalnych do ogrzewania swoich obiektów zdecyduje się również na budowę kompleksu rekreacyjno-balneologicznego, co przyczyni się do pełniejszego wykorzystania zasobów energetycznych i w efekcie popularyzacji ważnej gałęzi energetyki opartej na odnawialnych źródłach energii [3].

### *Geotermia Kleszczów*

Zgodnie z zamierzeniami inwestora przewiduje się wykonanie dwóch otworów GT-1 i GT-2, które miałyby stanowić dublet geotermalny. Według stanu na marzec 2010 r. wykonany został pierwszy z otworów. Obiecujące wyniki badań – wydajność, mineralizacja i temperatura ujętych wód, zdecydowały o podjęciu decyzji o odwierceniu drugiego otworu. Przewiduje się rozpoczęcie prac w ciągu najbliższych miesięcy. Przewidziano wykonanie badań

i testów hydrogeologicznych pojedynczo każdego z otworów oraz dubletu, a także opracowanie dokumentacji hydrogeologicznych. Na terenie miasta wybudowano i uruchomiono kompleks rekreacyjno-sportowy SOLPARK. Istnieje projekt zasilania basenów wodami termalnymi [3].

### *Geotermia Poddębice*

Plan zagospodarowania wód termalnych dla miasta Poddębice jest wynikiem prac projektowych prowadzonych w zakresie rozpoznania złoża wód termalnych od roku 1999. W latach 1999–2000, z inicjatywy władz Poddębic opracowano pierwszy projekt na rozpoznanie wód termalnych w rejonie miasta [33]. Projekt zakładał wykonanie dwóch otworów wiertniczych i udostępnienie wód poziomu hydrogeologicznego dolnej kredy dubletowym systemem eksploatacyjno-zatłaczającym oraz wykorzystanie ciepła wód tego poziomu do celów grzewczych i balneologiczno-rekreacyjnych [34]. W 2007 roku zrezygnowano z eksploatacji złoża dubletem geotermalnym na rzecz eksploatacji jednym otworem wydobywczym. Planuje się wykorzystać ciepło geotermalne do ogrzewania:

- Samodzielnego Publicznego Zakładu Opieki Zdrowotnej
- liceum ogólnokształcącego,
- gimnazjum,
- Zespołu Szkół Ponadgimnazjalnych,
- Pałacu w Poddębicach, oraz
- aquaparku w Poddębicach.

Planuje się także, że woda termalna po wykorzystaniu do w/w celów zostanie wykorzystana do podgrzewania boiska sportowego. Dodatkowo, w planowanym do realizacji osiedlu, ciepło geotermalne będzie wykorzystane do ogrzewania budynków mieszkalnych i gospodarczych, bez konieczności podgrzewania wody termalnej (ogrzewanie niskotemperaturowe). Wody termalne planowane są również do wykorzystywania w obiektach szpitalnych Samodzielnego Publicznego Zakładu Opieki Zdrowotnej do potrzeb leczniczo-balneologicznych. Ponadto, przewiduje się wykorzystanie wód do ogrzewania basenów kąpielowych wypełnionych wodą słodką oraz do bezpośredniego napełniania wydzielonych basenów przewidzianych do rekreacyjnych oraz rehabilitacyjnych kąpeli mineralnych [35].

Obecnie, prowadzone są prace geologiczne związane z wykonaniem badań hydrogeologicznych, w tym próbnej eksploatacji oraz opracowaniem dokumentacji hydrogeologicznej. Planuje się wykonanie badań balneologicznych wody i użytkowanie jej do celów balneologicznych w miejscowym szpitalu wojewódzkim oraz do rekreacji, a w nieco dalszej przyszłości również do produkcji ciepła [35].

## 9. Literatura

1. B. Kępińska, *Podhalański system geotermalny i projekt ciepłowniczy – przegląd problematyki*, 243–258, w: Międzynarodowe dni geotermalne, POLSKA 2004 pod red. B. Kępińskiej i K. Popovski, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2004.
2. J. Sokołowski, *Zasoby geotermalne Polski i możliwości ich wykorzystania w ochronie środowiska naturalnego*, Technika Poszukiwań Geologicznych. Geosynoptyka i Geotermia, Kraków 1993.
3. <http://mineralne.pgi.gov.pl> (wejście 21.06.10).
4. W. Wartak, A. Wróbel, W. Ignacok, *PEC Geotermia Podhalańska S.A. – Ciepłowniczy Zakład Geotermalny na Podhalu: Doświadczenia, wybrane aspekty pracy, perspektywy*, Technika Poszukiwań Geologicznych 27(2), 125–131, 2007.
5. <http://www.geotermia.pl> (wejście 07.09.10).
6. C. Ślimak, *PEC Geotermia Podhalańska S.A.*, Zakopane, maj 2010, dostępne: <http://e-bmp.pl/Image/Czeslaw%20Slimak%282%29.pdf> (wejście 15.09.10).
7. B. Kępińska, *Warunki termiczne i hydrotermalne podhalańskiego systemu geotermalnego*, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2006.
8. C. Ślimak, W. Wartak, *PEC Geotermia Podhalańska S.A. doświadczenia, stan obecny, perspektywy rozwoju*, Technika Poszukiwań Geologicznych 28(2), 123–132, 2009.
9. B. Tomaszewska, *Uzdatnianie wód termalnych ujętych otworem Bańska IG-1 do celów pitnych jako jeden z kierunków ich kompleksowego zagospodarowania*, Technika Poszukiwań Geologicznych 48(2), 13–20, 2009.
10. <http://www.geotermia.com.pl> (wejście 15.09.10).
11. M. Balcer, *Zakład geotermalny w Mszczonowie – wybrane aspekty pracy, doświadczenia, perspektywy*, Technika Poszukiwań Geologicznych 47(2), 113–114, 2007.
12. <http://termy-mszczonow.eu> (wejście 20.09.10).
13. <http://www.pnec.org.pl/smart/pdf/slowniki.pdf> (wejście 21.09.10).
14. S. Kulik, *Ciepłowniczy zakład geotermalny w Pyrzycach: doświadczenia, wybrane aspekty pracy, perspektywy*, Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój 240, 63–67, 2007.
15. S. Kulik, *Geotermia Pyrzyce*, materiały udostępnione ZChPP, Pyrzyce 2009.
16. <http://geotermia.inet.pl> (wejście 14.06.10).
17. H. Biernat, S. Kulik, B. Noga, *Instalacja geotermalna w Pyrzycach jako przykład pozyskiwania czystej i odnawialnej energii w ciepłownictwie oraz wód termalnych do balneologii i rekreacji*, Przegląd Geologiczny 58(8), 712–716, 2010.
18. T. Kujawa, W. Nowak, A. Stachel, *Heat-flow characteristic of one-hole and two-hole systems for winning geothermal heat*, Applied Energy 74, 21–31, 2003.
19. <http://www.geotermia.stargard.pl> (wejście 27.09.10).
20. A. Niewiarkowski, *Przyczyny upadku ciepłowni geotermalnej w Stargardzie Szczecińskim*, Technika Poszukiwań Geologicznych 27(2), 121–124, 2007.
21. P. Kubski, *Ciepłownia geotermalna w Stargardzie Szczecińskim i jej upadek*, Instal 2, 1–9, 2008.
22. <http://www.24kurier.pl> (wejście 22.09.10).

23. <http://www.termyuniejow.pl> (wejście 10.07.10).
24. <http://www.geotermia-uniejow.pl> (wejście 10.07.10).
25. J. Kurpik, *Wykorzystanie wód geotermalnych na przykładzie Geotermii Uniejów*, Technika Poszukiwań Geologicznych, 27(2), 119-120, 2007.
26. <http://www.pnec.org.pl/smart/pdf/uniejow.pdf> (wejście 21.09.10).
27. P. Hanausek, P. Klonowicz, J. Krysiński, *Koncepcja hybrydowej siłowni geotermalnej w Uniejowie*, Przegląd Geologiczny 57(8), 654–655, 2009.
28. <http://www.elektro.info.pl> (wejście 22.09.10).
29. <http://www.ian.org.pl> (wejście 22.09.10).
30. B. Tomaszewska, A.P. Barbacki, *Wstępne rozpoznanie właściwości hydrogeochemicznych wód termalnych w rejonie Gostynina*, Technika Poszukiwań Geologicznych 47(1–2), 59–67, 2008.
31. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006 r. w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości, Dz.U.06.80.565.
32. <http://www.gostynin.pl/> (wejście 22.09.10).
33. W. Górecki i in., *Projekt prac geologicznych dla rozpoznania złoża wód termalnych w rejonie miasta Poddębice*, Archiwum Towarzystwa Geosynoptyków „Geos”, Kraków 2000.
34. A. Karska, M. Hajto, *Możliwości zagospodarowania złóż termalnych w rejonie miasta Poddębice*, Technika Poszukiwań Geologicznych 48(2), 89–100, 2009.
35. <http://poddebice.net.pl> (wejście 20.09.10).

# WYKORZYSTANIE WÓD GEOTERMALNYCH NA CELE BALNEOLOGICZNE I REKREACYJNE W POLSCE

## 1. Wprowadzenie

Wody geotermalne wykorzystuje się w Polsce na cele balneologiczne już od kilku wieków, w ostatnich latach silnie rozwija się „przemysł” rekreacyjny oferując ciepłe wody w basenach termalnych.

Zainteresowanie wodami podziemnymi oraz ich zastosowaniem do celów leczniczych w Polsce swą tradycją sięga XI w. kiedy to żona króla Władysława Hermana leczyła dolegliwości stosując kąpiele w Inowłodzu nad Pilicą. Z roku 1281 pochodzi akt nadania zakonowi Joannitów ze Strzegomia prawa użytkowania źródeł wód mineralnych w Cieplicach i Łądku. Uzdrowisko w Cieplicach rozpoczęło działalność kilka lat później, by w XVI w. stać się znany europejskim kurortem. W XVII w. leczyła tam swe dolegliwości królowa Maria Kazimiera, żona króla Jana Sobieskiego [1].

Przełom XVIII i XIX w. przyniósł trwającą ponad sto lat modę „bywania u wód”, a co za tym idzie dalszy rozwój bazy uzdrowiskowej. W XIX w. powstały uzdrowiska m.in. w Ciechocinku – dzięki wybudowanym tam tężniom solankowym, Goczałkowicach, Jastrzębiu, Rabce, Szczawnicy, Rymanowie, Polanicy oraz Kamieniu Pomorskim. Rozwinęło się również bardzo modne w środowisku artystów uzdrowisko w Nałęczowie. Wiek XIX oraz lata tuż po odzyskaniu przez Polskę niepodległości, charakteryzowały się rosnącym zainteresowaniem leczeniem uzdrowiskowym. Powołano wówczas Związek Uzdrowisk Polskich oraz Polskie Towarzystwo Balneologiczne, które nadawały lecniczemu uzdrowiskowemu właściwe kierunki rozwoju i wysoki poziom medyczny. Rozbudowano wówczas bazę leczniczą uzdrowisk karpackich – Iwonicza,

Szczawnicy, Krynicy i Żegiestowa, a także Ciechocinka i Inowrocławia. Powstały również nowe uzdrowiska we Wieńcu, Horyńcu, Muszynie i Piwnicznej [1, 2].

## 2. Parametry wody leczniczej i termalnej w Polsce

Za wodę o charakterze leczniczym (o mineralizacji poniżej 60 g/dm<sup>3</sup>) uznaje się wody stosowane do kuracji pitnych, kąpeli, inhalacji, butelkowania, produkcji soli leczniczych, ługów kąpielowych i soli warzonej. Wody lecznicze nie mogą być skażone bakteriologicznie i chemicznie oraz muszą cechować się stałością składu chemicznego i właściwościami fizycznymi. Ich zalety lecznicze muszą być dowiedzione przez badania kliniczne potwierdzone opinią Ministerstwa Zdrowia i Opieki Społecznej [3].

Wody lecznicze charakteryzowane są za pomocą współczynników farmakodynamicznych, które określają m.in. minimalną zawartość rozpuszczonych w nich składników chemicznych lub opisują ich właściwości fizyczne, które powodują działanie lecznicze od eksperymentalnie stwierdzonego dolnego progu ich aktywności biologicznej (tabela 1).

Tabela 1. Współczynniki farmakodynamiczne oraz odpowiadające im nazwy wód [1]

Zawartość składnika(ów) w 1 dm <sup>3</sup> , nie mniej niż	Nazwa wody
10 mg $\Sigma$ (Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> )	żelazista
0,7 mg As	arsenowa
1 mg F <sup>-</sup>	fluorkowa
5 mg Br <sup>-</sup>	bromkowa
1 mg I <sup>-</sup>	jodkowa
1 mg S (oznaczenie jodometryczne)	siarczkowa
5 mg HBO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	borowa
100 mg H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	krzemowa
250-999 mg wolnego CO <sub>2</sub>	kwasowęglowa
1000 mg rozpuszczonego CO <sub>2</sub>	szczawna
2·10 <sup>-9</sup> Ci	radoczywna
20°C ≤ temperatura wody na wypływie z ujęcia	termalna

Status leczniczej wody termalnej nadaje się wodzie podziemnej wykazującej na wypływie temperaturę co najmniej 20°C [4]. Zostało to ustalone podczas Międzynarodowego Kongresu Balneologicznego w Nauheim w 1911 r. wraz z innymi kryteriami klasyfikacji wód pod względem fizykochemicznym

i przyjęte również w Polsce. Jest to wartość umowna, bez uzasadnienia metodycznego, a jednocześnie zgodna z ustaloną w hydrogeologii, gdzie przyjmuje się jako kryterium, średnią roczną temperaturę powietrza obszaru, z którego pochodzi woda [5]. Podział geologiczny wyróżnia wody ze względu na zakres temperaturowy, odpowiednio:

- bardzo zimne o temperaturze do 4°C,
- zimne o temperaturze 4–20°C,
- ciepłe o temperaturze 20–37°C,
- gorące o temperaturze 37–42°C,
- bardzo gorące o temperaturze 42–100°C,
- wrzące o temperaturze powyżej 100°C.

W podziale leczniczych wód termalnych stosuje się kryterium fizjologiczne, wyróżnia się zatem wody: hipotermalne o temperaturze poniżej 37°C, również 37°C oraz powyżej 37°C [4].

Kąpiel w wodzie o temperaturze 20–35°C nie powoduje efektów termicznych, ale już na temperaturę wody powyżej 37°C organizm człowieka reaguje rozszerzeniem naczyń krwionośnych. Dodatkowym efektem jest nasilenie procesów przemiany materii i wzmożona wymiana jonowa między skórą, a składnikami mineralnymi wody. Lecznicze działanie mineralnej kąpeli jest wzmacniane wpływem niektórych składników, takich jak jodki, siarczki, chlorek sodu czy dwutlenek węgla [4].

W tabeli 2 przedstawiono zalecaną temperaturę i czas trwania kąpeli w zależności od dolegliwości chorobowych.

Tabela 2. Zalecana temperatura i czas trwania kąpeli leczniczych [4]

Temperatura wody [°C]	Czas kąpeli [min.]	Wskazania
28–33	10–20	pobudliwość nerwowa, dychawica oskrzelowa, niskie ciśnienie, niedobory jodu
35–37	do 60	nerwice ogólne, nerwobóle, bezsenność, nadciśnienie
37–42	10–20	nieżyty dróg oddechowych, otyłość, zapalenie i nieżyty nerek oraz pęcherza moczowego

Wśród ogółu wód termalnych rozpoznanych dotąd w Polsce dominują wody chlorkowo-sodowe, jodkowe, żelaziste o mineralizacji powyżej 1,5%. Występują one w województwie łódzkim, lubelskim, podlaskim, kujawsko-pomorskim, wielkopolskim, lubuskim, małopolskim oraz mazowieckim. Znacznie rzadsze są wody chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowe, jodkowe,

rozpoznane jak do tej pory jedynie w województwie łódzkim i mazowieckim. W Polsce spośród 44 uzdrowisk 7 posiada wody termalne i stosuje je do kuracji [4, 6].

### 3. Uzdrowiska wykorzystujące wodę geotermalną w Polsce

Uzdrowiskiem w rozumieniu ustawy z dnia 28 lipca 2005 r. *O lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz o gminach uzdrowiskowych* [7] jest obszar, na terenie którego prowadzone jest lecznictwo uzdrowiskowe, wydzielony w celu wykorzystania i ochrony znajdujących się na jego obszarze naturalnych surowców leczniczych. W przypadku spełnienia wymogów, o których wyżej mowa, obszarowi nadawany jest status uzdrowiska. Uznanie miejscowości za uzdrowisko dokonuje się po wystąpieniu i opracowaniu operatu uzdrowiskowego przez gminę, pozwalającego stwierdzić posiadanie wymagań zawartych w ustawie uzdrowiskowej – Rada Ministrów na wniosek Ministra Zdrowia, zgodnie z wyżej wspomnianą ustawą. Status uzdrowiska lub obszaru ochrony uzdrowiskowej stwarza podstawy prawno-organizacyjne do prowadzenia na danym obszarze lecznictwa uzdrowiskowego oraz działalności wypoczynkowej i turystycznej. Polskie uzdrowiska działają na podstawie ustawy uzdrowiskowej, aby uzyskać status uzdrowiska muszą posiadać:

- klimat lokalny o walorach leczniczych,
- unikalne, naturalne złoża surowców uzdrowiskowych,
- zakłady opieki zdrowotnej udzielające świadczeń z zakresu lecznictwa uzdrowiskowego przez wykwalifikowane kadry medyczne,
- obiekty szpitalne i sanatoryjne z pełnym zapleczem, o wysokim standardzie,
- urządzenia przeznaczone do korzystania z uzdrowiskowych zasobów naturalnych,
- wymagania określone w przepisach prawa o ochronie i kształtowaniu środowiska,
- odpowiedni obszar pozwalający na wyodrębnienie stref ochrony uzdrowiskowej pełną infrastrukturę techniczną, oraz
- znaczenie ponadlokalne [7].

Rosnące wymagania kuracjuszy dotyczące wszelkiego rodzaju usług świadczonych sprawiają, że domy sanatoryjne i same uzdrowiska szybko się zmieniają, rozbudowują i unowocześniają. Po okresie poważnego spadku liczby kuracjuszy przybywających na leczenie, który miał miejsce w pierwszej połowie lat 90. XX w., zainteresowanie pobytami sanatoryjnymi gwałtownie rośnie. Stają się one popularne nie tylko wśród osób starszych, tradycyjnie

kojarzonych z pojęciem lecznictwa uzdrowiskowego, lecz również wśród osób młodych. Do uzdrowisk przyciąga ich wysoki standard świadczonych usług hotelowych i terapeutycznych, możliwość relaksu w cichych i zazwyczaj malowniczych miejscach oraz pasywny charakter wypoczynku, który zapewniają zabiegi świadczone przez wykwalifikowany personel. Polskie uzdrowiska cieszą się dużym zainteresowaniem turystów zagranicznych, zwłaszcza niemieckich [1].

### 3.1. Ciechocinek

Ciechocinek jest jednym z najbardziej znanych polskich uzdrowisk. Już w XIII wieku w pobliskim Słońsku warzono sól ze słonych źródeł. Koniec XVIII wieku przyniósł rozbiory Polski, wobec czego zaistniała pilna potrzeba „uruchomienia” nowego źródła soli, wybór padł właśnie na Ciechocinek [8]. W XIX wieku wybudowano w Ciechocinku trzy tężnie (dwie 1828 r., a trzecia w 1859 r.). Solanka dostarczana jest ze źródła „Grzybek” (kiedyś z wykorzystaniem wiatraków, stąd tężnia wraz z wiatrakiem jest herbem Ciechocinka), skąd spływa ona grawitacyjnie ulegając zatężeniu. Tężnie wypełnione są gałkami tarniny, solanka spływając ulega odparowaniu, a jej stężenie wzrasta z 5,5 do 27%. Po przejściu przez etap tężni, solanka odprowadzana jest do warzelni na tak zwane panwie, na których zostaje zatężona pod wpływem wysokiej temperatury (95-104°C). W ten sposób krystalizuje się sól kuchenną, która po wyjęciu z panwi jest osuszana i sprzedawana na cele spożywcze. Pozostały po wyjęciu soli roztwór określany jest mianem ługu pokrystalicznego oraz szlamu ciechocińskiego. Szlam to osad pozostający na dnie panwi po wydobyciu soli i odsączeniu ługu. Zarówno szlam jak i ług wykorzystywane są w kąpielach leczniczych [8, 9].

Budowa tężni (rysunek 1) była przełomowym momentem dla miasta, rok 1836 przyjmuje się jako początek działalności uzdrowiska (znamiennym jest, że niewielu kuracjuszy i turystów wie o pierwotnej funkcji tężni [10]). Wokół tężni tworzy się leczniczy mikroklimat, dzięki nasyceniu powietrza w jod i brom uwalniające się z tężniowej solanki. Naturalne inhalacje podczas spacerów wokół tężni wpływają korzystnie na nieżyty dróg oddechowych i obniżają ciśnienie tętnicze [11].

W 1836 r. to powstał w Ciechocinku pierwszy zakład posiadający wanny do kąpieli solankowych. Rozwój uzdrowiska spowodował dalsze poszukiwanie oraz otwarcie kolejnych ujęć wód mineralnych, z których część została zakwalifikowana jako wody nadające się również do picia, w związku z tym faktem na terenie Ciechocinka powstały rozlewnie wód mineralnych, m.in. Krystynki (butelkowanej bez uzdatniania chemicznego). Pierwsze źródło

wody termalnej o temperaturze 27°C, zostało oddane do eksploatacji w 1932 roku [8, 9].



Rys. 1. Tężnia nr 3 w Ciechocinku (fot. B. Igliński)

Według klasyfikacji balneologicznej wody mineralne występujące w Ciechocinku zostały zakwalifikowane do wód chlorkowo-sodowych, bromkowych, jodkowych, siarczkowych, fluorkowych, a także termalnych (tabela 3). W połączeniu tworzą one wody charakteryzujące się leczniczym oddziaływaniem na pacjenta poddawanego kąpielom, inhalacjom lub też kuracji pitnej [8]. W Ciechocinku leczy się choroby narządów ruchu i zmiany reumatyczne, choroby krążenia oraz układu oddechowego zarówno u dzieci jak i dorosłych [8, 9].

Tabela. 3. Charakterystyka czynnych ujęć wód mineralnych w Ciechocinku [9]

Lp.	Głębokość [m]	Rok wykonania	Temperatura [°C]	Mineralizacja ogólna [mg/dm <sup>3</sup> ]	Wykorzystywanie
1.	414,5	1911	18	58020	Tężnia – warzelnia
2.	757/1305	1932	27	41850	Balneoterapia
3.	1378,1	1952	34,5	67076	Balneoterapia
4.	23,7	1961	11	9715	Basen
5.	22	1976	10,5	2273	Basen – rozlewnia
6.	22	1976	10,5	2184	Basen – rozlewnia
7.	1450/1821	1965	37	69718	Balneoterapia
8.	34	1976	12,0	3300	Rozlewnia wód

Badania Krawieca [12] w latach 2008/09 nieznacznie różnią się z danymi przedstawionymi przez Kubiaka [9], co przedstawiono w tabeli 4 (odpowiednio nr 2 i 3 w tabeli 3).

Tabela 4. Parametry fizykochemiczne wody z term w Ciechocinku [12]

Parametr	Terma nr 14	Terma nr 16
Temperatura [°C]	28	32
Mineralizacja [mg/dm <sup>3</sup> ]	43520	53361
pH	6,9	6,6
Na <sup>+</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	14700	18265
Ca <sup>2+</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	1326	1503
Mg <sup>2+</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	486	486
K <sup>+</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	163	170
Fe <sup>2+</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	1,3	5,9
Cl <sup>-</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	26233	31905
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	97	430
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	356	338
Br [mg/dm <sup>3</sup> ]	7,4	98
I [mg/dm <sup>3</sup> ]	2,1	2,3

Obecnie z ujęcia nr 14 pobiera się około 92 m<sup>3</sup>/h solanki o temperaturze 26–28°C, zaś ujęcie nr 16 pracuje z wydajnością 35 m<sup>3</sup> solanki o temperaturze

28–32°C na godzinę, przy zasobach eksploatacyjnych wynoszących odpowiednio 135 m<sup>3</sup>/h i 70 m<sup>3</sup>/h [12].

### 3.2. Cieplice Śląskie Zdrój

Wody termalne wykorzystywane do potrzeb leczniczych w Cieplicach są wodami hipotermalnymi fluorkowymi oraz krzemowymi [13]. Wody termalne pozyskiwane są z płytkich (4–5 m) ujęć typu dzwonowego, szybów (14–23 m) i otworów wiertniczych (37–160 m). Wody z ujęć, o temperaturze niewiele ponad 20°C napływają grawitacyjnie do zbiorników, skąd pompami dostarczane są do basenów, wanien oraz do kuracji pitnej (również butelkowane). Do lat 70-tych XX wieku woda na cele kąpielowe musiała być podgrzewana, problem ten rozwiązano włączając wodę o temperaturze 63°C z odwiertu Cieplice-2. Rozwiązanie to pociągnęło za sobą likwidację kotłowni, zaś nadwyżki wody wykorzystywane są do celów ciepłowniczych, co znacząco poprawiło kondycję finansową uzdrowiska [13, 14, 15].

Tabela 5. Ujęcia wód termalnych w Cieplicach Śląskich Zdroju [14, 15]

Nazwa źródła	Rodzaj ujęcia	Liczba ujęć	Rok wykonania	Temperatura wody [°C]	Mineralizacja [mg/dm <sup>3</sup> ]	Klasyfikacja wody
Marysieńka	studnia odwiert	1 1	1880/82	21,7	550	SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> Na+F
Sobieski	dzwonowe	1	1929/30	22,2	465	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> Na-Ca+F
Antoni-Wacław	dzwonowe	2	1910/11	19	510	SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> Na-Ca+F
Nowe	dzwonowe odwiert	4 1	1929/30	33,3	517	SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> Na+F
Basenowe Damskie	dzwonowe	2	1929/30	40,8	537	SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> Na+F
Basenowe Męskie	dzwonowe	1	1929/30	39,7	538	SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> Na+F
Cieplice-1 (C-1)	odwiert	1	1971, pogłębienie 1998	86,7	–	SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> Na+F
Cieplice 2 (C-2)	odwiert	1	1972	59,5	535	SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> Na+F

Derkowska i Sawicki [15] przeprowadzili badania wód leczniczych w Cieplicach Śląskich Zdrój. W cyklu rocznym nie stwierdzono stałych okresów maksymalnej i minimalnej wydajności. Wydajność poszczególnych źródeł zależała od stanu technicznego ujęć i wzajemnej ich interferencji. W źródłach Basenowych: Męskim i Damskim, Nowym oraz C-2 stwierdzono wody stare, o głębokim krążeniu, bez domieszek współczesnych. Opady atmosferyczne nie miały wpływu na ich wydajność, a wraz ze wzrostem temperatury powietrza, wzrastała również temperatura wody. Z kolei wody źródeł Marysienka, Sobieski i Antoni charakteryzują się bardziej zmienną wydajnością, na co mają wpływ opady atmosferyczne.

W 1997 r. uzdrowisko Cieplice – poprzez pogłębienie nieczynnego otworu Cieplice-1 do głębokości 2002,5 m – uzyskało nowe zasoby wód o wydajności samowypływu 45 m<sup>3</sup>/h i temperaturze 86,7°C [4]. Zasoby odwiertu C-1 przez wiele lat praktycznie nie były wykorzystywane. Na początku 2010 r. projekt budowy Term Cieplickich zaczął nabierać realnych kształtów, kiedy to gmina Jelenia Góra podpisała z Polską Organizacją Turystyczną umowę na dofinansowanie tej inwestycji. Dzięki temu, do samorządu trafi 18 mln zł z unijnego programu Innowacyjna Gospodarka. Koszt całkowity projektu oszacowano na 55 mln zł [16].

### 3.3. Duszniki Zdrój

Już z XV wieku pochodzą pierwsze wzmianki o istnieniu źródła leczniczego „Zimny Zdrój”. W 1748 r. przeprowadzono pierwsze badania źródeł mineralnych, zaś od 1769 r. Duszniki stają się oficjalnym uzdrowiskiem poprzez wpisanie „Zimnego Zdroju” na listę źródeł leczniczych ówczesnych Prus. W 1797 w prowizorycznie wzniesionej szopie w 6 wannach rozpoczęto leczenie kuracyjne w podgrzanej wodzie z „Zimnego Zdroju”. W tym samym roku odkryto „Letni Zdrój”, znany obecnie pod nazwą „Pieniawa Chopina” (w 1826 na kuracji przybywał Fryderyk Chopin). Wkrótce za miastem wybudowano pawilony, pierwsze urządzenia kąpielowe, „dom towarzyski” i pierwsze zajazdy. W 1817 r. odkryte zostaje kolejne źródło „Źródło Ulryki”, obecnie znane jako „Jan Kazimierz”. W latach 1958–1962 zrekonstruowano stare ujęcia wód mineralnych, wybudowano nowe oraz przeprowadzono remont kapitalny pijalni wód mineralnych. W następnych latach nadal pracowano nad nowymi odwiertami (lata 1965–1973) [17, 18].

Woda z dusznickich źródeł ma temperaturę nieznacznie poniżej 20°C, gdyż duże ilości (tabela 6) dwutlenku węgla rozprężającego się podczas wpływu na powierzchnię powodują jej ochłodzenie [19]. W 2002 r. wywiercono otwór GT-1 o głębokości 1695 m, stwierdzając:

- od 193,5 do 534 m wodę o temperaturze 25,7°C i typie 0,35% szczywy termalnej HCO<sub>3</sub>-Na-Ca-Mg, Fe, Si, przy wydajności 20 m<sup>3</sup>/h, oraz
- od 552,5 do 1695 m wodę o temperaturze 34,7°C i typie 0,34% szczywy termalnej HCO<sub>3</sub>-Na-Ca-Mg, Fe, Si, przy wydajności 30 m<sup>3</sup>/h [18].

Tabela 6. Skład chemiczny wody geotermalnej eksploatowanej w Dusznikach Zdroju („Pieniawa Chopina”) [19]

Kationy [mg/dm <sup>3</sup> ]		Aniony [mg/dm <sup>3</sup> ]		Inne	
Na <sup>+</sup>	160,0	Cl <sup>-</sup>	10,5	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	59,8
K <sup>+</sup>	90,0	HAsO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,2	CO <sub>2</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	1600
Mn <sup>+</sup>	1,0	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	90,7	pH	6,2
Ca <sup>2+</sup>	250,7	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1520,6		
Mg <sup>2+</sup>	59,2				
Fe <sup>2+</sup>	11,1				

### 3.4. Iwonicz Zdrój

Uzdrowisko Iwonicz Zdrój wykorzystuje solanki o temperaturze 20°C i wysokiej mineralizacji (6–19 g/dm<sup>3</sup>), bogate w brom, jod oraz wolny dwutlenek węgla. Ze względu na nieodnawialność zasobów wód geotermalnych eksploatacja prowadzona jest tu ze szczególną uwagą [20, 21].

Iwonicz jako uzdrowisko wzmiankowane jest w 1578 r. w książce „Cieplice” przez Wojciecha Oczkę, nadwornego lekarza Stefana Batorego. Oczko uważał, że „...snać choroby w ciele nie masz, któreby takowe wody pomocne nie były...” [11]. Lekarz z Przemyśla Jan Sechkini w 1630 r. opisał walory wód iwonicznych wraz z podaniem wskazań lekarskich. Źródła kąpielowe wspomniane były jeszcze w 1633 r. przez biskupa przemyskiego Firleja. Niedługo potem wzrasta zainteresowanie wodą oraz ma miejsce budowa pierwszych obiektów zakładu kąpielowego oraz budowa pierwszych łazienek [11, 21]. Kuracjusz/turysta może napić się następującej wody:

- „Karol 2” – 0,19%-wa woda wodorowęglanowo-chlorkowo-sodowa,
- „Klimkówka 27” – 1,31%-owa woda wodorowęglanowo-chlorkowo-sodowa, jodkowa, kwasowęglowa. Wskazania: choroba wrzodowa żołądka i dwunastnicy. Przeciwwskazania: kamica układu moczowego, niedokwaśność treści żołądkowej,
- „Iwonicz 11” – 0,53%-wa woda chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowa, jodkowa, kwasowęglowa. Wskazania: przewlekłe zapalenie błony śluzowej żołądka, zaburzenia czynności dróg żółciowych, przewlekły

stan spastyczny jelita grubego. Przeciwwskazania: choroba wrzodowa żołądka i dwunastnicy, niewydolność nerek, nadczynność tarczycy,

- „Elin 7” – 0,62%-wa woda chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowa, jodkowa, kwasowęglowa. Wskazania: przewlekłe zapalenie błony śluzowej żołądka, stany zapalne dróg żółciowych, zaburzenia czynności dróg żółciowych. Przeciwwskazania: niewydolność krążenia, nadczynność tarczycy, cukrzyca, otyłość, choroba wrzodowa żołądka i dwunastnicy,
- „Iza 19” – 0,07%-wa woda wodorowęglanowo-sodowo-wapienna. Woda słabo zmineralizowana [21].

Na początku XX wieku wykonano kilka odwiertów do 400 m głębokości, dzięki którym obecnie wykorzystuje się w Iwoniczu Zdroju wodę termalną. Warto również wspomnieć, że w uzdrowisku przebywali m.in. Aleksander Fredro, Józef Piłsudski czy Jan Kiepura [11].

### 3.5. Konstancin

Uzdrowisko Konstancin-Zdrój (dawniej Przedsiębiorstwo Państwowe Uzdrowisko-Konstancin) – uzdrowisko założone w 1917 r. w Konstancinie Jeziornej. Obiekty należące do Uzdrowiska Konstancin-Zdrój Sp. z o.o. zlokalizowane są w strefie uzdrowiskowej. Należą do nich:

- tężnia solankowa,
- szpital Rehabilitacji Kardiologicznej Biały Dom,
- sanatorium Uzdrowiskowe Przy Źródle,
- szpital Rehabilitacji Kardiologicznej,
- szpital Rehabilitacji Neurologicznej,
- hotel i Restauracja Konstancja, oraz
- restauracja Zdrojowa [22, 23].

W planach jest budowa do 2011 r. centrum hydroterapii (m.in. baseny solankowe oraz zakład przyrodolecznicy) pod nazwą Centrum Hydroterapii w Konstancinie-Jeziornej. W uzdrowisku leczy się stany po udarach i urazach mózgu, niedowładach połowicznych, stany po zawale mięśnia sercowego, stany po zabiegach kardiochirurgicznych, przewlekłe zaburzenia krążenia, schorzenia narządu ruchu: zespoły bólowe kręgosłupa, zespoły bólowe stawów obwodowych, wady wrodzone układu kostno-mięśniowego, schorzenia górnych i dolnych dróg oddechowych [22, 23].

### 3.6. Łądek Zdrój

Łądek Zdrój uważany jest za najstarsze uzdrowisko w Polsce, gdyż według źródeł historycznych już w 1241 r. istniały tu urządzenia kąpielowe zniszczone przez Mongołów wracających spod bitwy pod Legnicą. Najstarszy zakład przyrodolecznicy „Jerzy” z basenem zbudowanym na źródle o tej samej nazwie został wzniesiony w 1498 r. [11, 24, 25]. W tamtym okresie Łądek Zdrój był już znanym uzdrowiskiem posiadającym zakłady lecznicze, urządzenia kąpielowe, wypoczywalnię, pokoje dla kuracjuszy i stały personel zabiegowy (ciepłą wodą leczono też konie chore na gruźlicę). W Łądku leczyli się m.in.: Goethe, Katarzyna II, cesarz Aleksander I, królowie pruscy czy prezydent USA John Quincy Adams, który stwierdził, iż „...nie widziałem nigdy uzdrowiska, którego położenie miało wygląd bardziej obliczony na zachowanie czy przywracanie zdrowia niż Łądek...” [24]. Na początku XX w. stwierdzono radoczynność źródeł łądeckich, co w znacznym stopniu wpłynęło na popularność uzdrowiska w środowiskach lekarskich. Powstał nowy zakład przyrodolecznicy, basen cieplicowy, zakład borowinowy, sanatoria, park uzdrowiskowy [25].

Wody termalne Łądku Zdroju stosowane są w lecznictwie balneologicznym do zabiegów kąpielowych w basenach, wannach i natryskach [18]. Woda termalna pobierana jest z siedmiu ujęć o łącznej wydajności 58 m<sup>3</sup>/h. Połowa wody (wody hipotermalne) o temperaturze 20–28,5°C czerpana jest z płytkich ujęć (do 10 m) wykonanych jeszcze w XIX wieku. Z kolei wody hipertermalne o temperaturze 45°C pozyskuje się z głębokiego na 700 m otworu „Zdzisław”. Łądeckie wody to wody o mineralizacji 0,2 g/dm<sup>3</sup> głównie wodorowęglanowe, fluorkowo-siarczkowe oraz radonowe. Skład chemiczny stosowanej w kuracjach wody geotermalnej eksploatowanej z odwiertu L-2 przedstawiono w tabeli 7 [19].

Tabela 7. Skład chemiczny wody geotermalnej eksploatowanej w Łądku-Zdroju [19]

Kationy [mg/dm <sup>3</sup> ]		Aniony [mg/dm <sup>3</sup> ]		Inne	
Na <sup>+</sup>	50,0	Cl <sup>-</sup>	8,1	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	39,0
K <sup>+</sup>	1,0	F <sup>-</sup>	10,0	Rn [nCi/dm <sup>3</sup> ]	4,6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,5	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	14,1	pH	6,2
Ca <sup>2+</sup>	3,2	HCO <sub>3</sub>	84,7	Temperatura [°C]	45
Mg <sup>2+</sup>	0,2				
Fe <sup>2+</sup>	1,2				

### 3.7. Ustroń

Ustroń miano uzdrowiska uzyskał pod koniec XIX wieku. Obiekty sanatoryjne są usytuowane na południowych, dobrze nasłonecznionych stokach Beskidu Śląskiego [26, 27]. Do Ustronia przyjeżdżają kuracjusze aby się zrelaksować oraz skorzystać z basenów solankowych. Kąpiele w nich są przede wszystkim jednym z ważniejszych elementów lecznictwa uzdrowiskowego, szczególnie rehabilitacji ruchowej. Ze względu na zawartość w solance jodu i bromu sala z basenem ma specyficzny mikroklimat leczniczy o ogromnym znaczeniu przy leczeniu chorób dróg oddechowych. Ustrońskie solanki wydobywane są z dwóch odwiertów w pobliżu Uzdrowiskowego Zakładu Przyrodoleczniczego [27].

Cztery baseny Uzdrowiskowego Zakładu Przyrodoleczniczego napełnione solanką o stężeniu 3–4% są miejscem ćwiczeń kinezyterapeutycznych. Gimnastyka w wodzie pozwala na wykonanie ćwiczeń w odciążeniu, wpływa korzystnie na układ ruchu, krążenia i oddechowy. Kąpiele solankowe (w basenach i w wannach) zmniejszają pobudliwość nerwów czuciowych i ruchowych, zwiększają ukrwienie skóry, normalizują ciśnienie krwi. Kąpiel kwasowęglową (CO<sub>2</sub>) wykonuje się w wodzie zawierającej rozpuszczony dwutlenek węgla. Ma ona szczególnie zastosowanie przy nadciśnieniu tętniczym krwi, zmianach miażdżycowych i w stanach rekonwalescencji. Zawarty w wodzie CO<sub>2</sub> wydziela się na skórze w postaci pęcherzyków gazu i wywołuje w organizmie wiele zmian poprzez rozszerzenie naczyń włosowatych tętniczych i żylnych. W następstwie tego dochodzi do obniżenia ciśnienia tętniczego krwi. Kąpiel CO<sub>2</sub> działa także uspokajająco i relaksująco [11, 27].

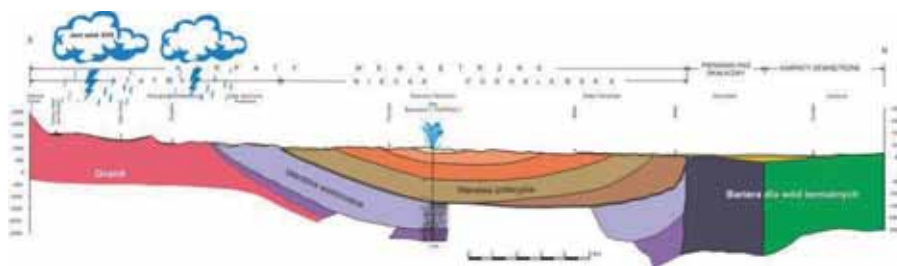
## 4. Wykorzystanie wód geotermalnych na cele rekreacyjne

Jak już wspomniano wcześniej, przybywa w Polsce miejsc, gdzie możemy skorzystać z kąpeli geotermalnych. Szczególnie mocno rozwija się „termowa” turystyka na Podhalu, gdzie nastąpił gwałtowny rozwój aquaparków i basenów termalnych. Do dyspozycji gości odwiedzających Tatry oddano Aquapark w Zakopanem, Termy Podhalańskie na granicy Szaflar i Białego Dunajca oraz Termę Bukowina w Bukowinie Tatrzańskiej, a także baseny termalne na Polanie Szymoszkowej w Zakopanem. Już wkrótce ofertę basenów termalnych na Podhalu wzbogaci Terma Bania w Białce Tatrzańskiej. Wszystkie obiekty oferują ogrzewaną geotermalnie wodę o właściwościach leczniczych oraz liczne atrakcje zarówno dla dzieci jak i dla dorosłych. Stanowią one doskonałą alternatywę dla górskich wycieczek i są nie zastąpione podczas deszczowej pogody [28].

#### 4.1. Bukowina Tatrzańska (Terma Bukowina Tatrzańska)

W 2004 roku Bukowińskie Towarzystwo Geotermalne wykupiło od Skarbu Państwa prawa do korzystania z odwiertu oraz otrzymało koncesję na wydobycie i eksploatację wody geotermalnej z odwiertu Bukowina Tatrzańska PIG/PNIG-1 [29].

„Terma Bukowina Tatrzańska” korzysta z wody termalnej z otworu usytuowanego na północno-zachodnim zboczu Wysokiego Wierchu, w odległości około 6 km od brzegu Tatr. Warunki krążenia oraz litologia środowiska skalnego wpływają na właściwości wody termalnej. Wody opadowe infiltrujące w skały masywu tatrzańskiego migrują z prędkością od kilku do kilkunastu metrów rocznie ku północy, zgodnie z kierunkiem zapadania warstw wodonośnych. Takie prędkości przepływu wód podziemnych skutkują różnicowaniem czasów kontaktów wody ze skałą, czego odbiciem jest chemizm wód (tabela 7). W roku 2005 dla otworu *Bukowina Tatrzańska* zatwierdzono zasoby eksploatacyjne w wysokości  $Q=40,0$  m<sup>3</sup>/h przy depresji 80 m, o temperaturze 64,5°C. Woda wydobywana z odwiertu eksploracyjnego, po oddaniu ciepła w wymiennikach ciepła i w basenach kąpielowych, jest odprowadzana po dodatkowym schłodzeniu do płynącego w sąsiedztwie potoku Poroniec [29, 30].



Rys. 2. Przekrój przez warstwy geologiczne otworu w Bukowinie Tatrzańskiej [29]

Właścicielem obiektu „Terma Bukowina Tatrzańska” jest Bukowińskie Towarzystwo Geotermalne Sp. z o.o., zawiązane w 2002 roku przez mieszkańców Bukowiny Tatrzańskiej [29, 30]. Jest to jeden z największych i najnowocześniejszych obiektów w Europie, łączna powierzchnia lustra wody wynosi 1885 m<sup>2</sup>, pojemność basenów zaś 2260 m<sup>3</sup>. Obiekty termalne obejmują 6 basenów zewnętrznych i 6 wewnętrznych wyposażonych w hydromasaże. W skład kompleksu wchodzi:

- Corny staw – basen rekreacyjny zewnętrzny o głębokości 1,2 m, temperatura wody 30–36°C (Rys. 3a),

- zjeżdżalnie o łącznej długości ponad 100 m (Rys. 3a),
- Letnie mocydełko – brodzik o głębokości 0,4 m, temperatura wody 30–36°C (Rys. 3b),
- Niebiesko dolino – basen rekreacyjny zewnętrzny z hydromasażem o głębokości 1,3 m, temperatura wody 30–36°C (Rys. 3c),
- Cepersko Plań – basen pływacki zewnętrzny dla osób dobrze pływających o głębokości 1,5 m, temperatura wody 28–30°C (Rys. 3d),
- Zostawnica – basen o głębokości 1,3 m, temperatura wody 30–36°C (basen zewnętrzny – Rys. 3e, basen wewnętrzny – Rys. 4c),
- Jaskinia pod Porońcem – grota skalna i basen zewnętrzny o głębokości 1,3 m, temperatura wody 30–36°C (Rys. 3f),
- Bonior basisty – basen rekreacyjny o głębokości 1,35 m, temperatura wody 30–36°C (Rys. 4a),
- Bulgotnik – basen z hydromasażem o głębokości 1,3 m, temperatura wody 30–36°C (Rys. 4b),
- Mocydełko – brodzik o głębokości 0,4 m, temperatura wody 30–36°C (Rys. 4 d),
- Bystry potok – brodzik o głębokości 0,7 m, temperatura wody 30–36°C (Rys. 4e),
- baseny z hydromasażem (Rys. 4f), sauny, SPA, kompleks gastronomii.

Tabela 7. Skład chemiczny wody termalnej z otworu Bukowina Tatrzańska PIG/PNiG-1 [29, 30].

Symbol/wzór jonu	Stężenie [mg/dm <sup>3</sup> ]
K <sup>+</sup>	19,00
Na <sup>+</sup>	178,00
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,17
Ca <sup>2+</sup>	191,70
Mg <sup>2+</sup>	52,50
Fe <sup>2+</sup>	0,07
Cl <sup>-</sup>	173,00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	214,00
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	725,00
F <sup>-</sup>	1,98



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Rys. 3. Baseny zewnętrzne w Bukowinie Tatrzańskiej; opis w tekście (fot. B. Igliński, G. Piechota)

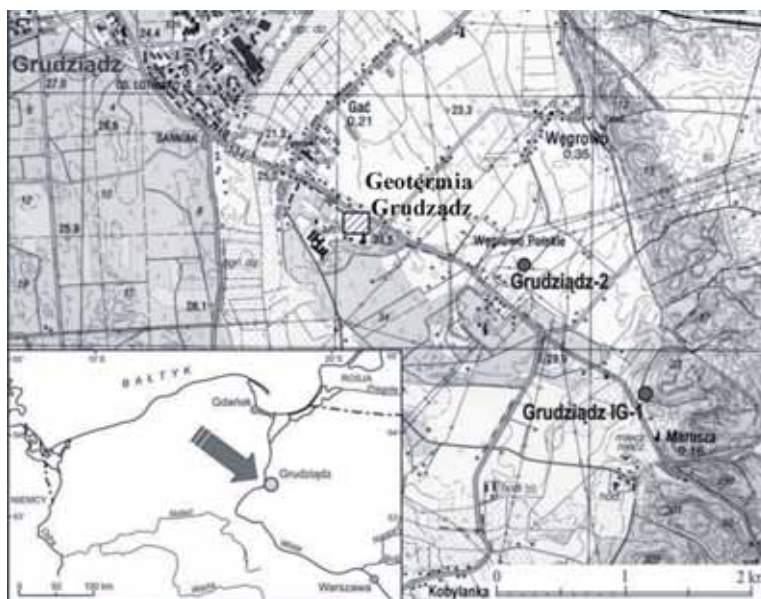


Rys. 4. Baseny wewnętrzne w Bukowinie Tatarskiej; opis w tekście (fot. B. Iglński)

#### 4.2. Grudziądz (Geotermia Grudziądz)

W rejonie Grudziądza lecznicze wody termalne rozpoznane zostały otworami Grudziądz 2 oraz Grudziądz IG-1. Obecnie do celów leczniczych wykorzystywana jest solanka z ujęcia Grudziądz IG-1. Otwór Grudziądz IG-1 wykonany

został zimą 1971/72 w miejscowości Marusza znajdującej się na południowy-zachód od Grudziądza [31, 32].



Rys. 5. Lokalizacja ujęć wód geotermalnych i Geotermii Grudziądz [32]

Otwór w Maruszy wywiercono do głębokości 3070,5 metrów. W trakcie opróbowywania otworu grudziądzka firma Hydrogeowiert wykonała odwiert na głębokości od 1630 do 1607 metrów poniżej poziomu terenu i w osadach jury dolnej natrafiła na złożę solanki. Uzyskano samowypływ solanki do wysokości ponad 13 metrów ponad poziom terenu, wydajności 35 m<sup>3</sup>/h o temperaturze 44°C, przy stałej tendencji wzrostowej temperatury oraz zasoleniu 8%. Złoża solanek dzięki obecności chlorku sodu, związków wapnia magnezu, żelaza, wolnego siarkowodoru, jodu, bromu i innych mikroelementów posiadają właściwości lecznicze [31, 32, 33].

Krawiec [32] w swoim opracowaniu podaje wyniki badań fizykochemicznych wody z otworu Grudziądz IG-1 w 1972, 2002 oraz w 2006 r. (Tabela 8). Wyniki analiz chemicznych wskazują na stałość składu badanej wody. Jak wynika z analiz chemicznych z lat 1972 oraz 2002 i 2006 wahania poszczególnych składników są niewielkie i wynoszą około 1÷3%. Największe różnice dotyczą zawartości jonów siarczanowych(IV) na poziomie 7÷24% i żelaza, którego wzrost do ponad 10 mg/dm<sup>3</sup> powoduje zaklasyfikowanie tej wody jako leczniczą żelazistą.

Tabela 8. Parametry fizykochemiczne wody z otworu Grudziądz IG-1 [32]

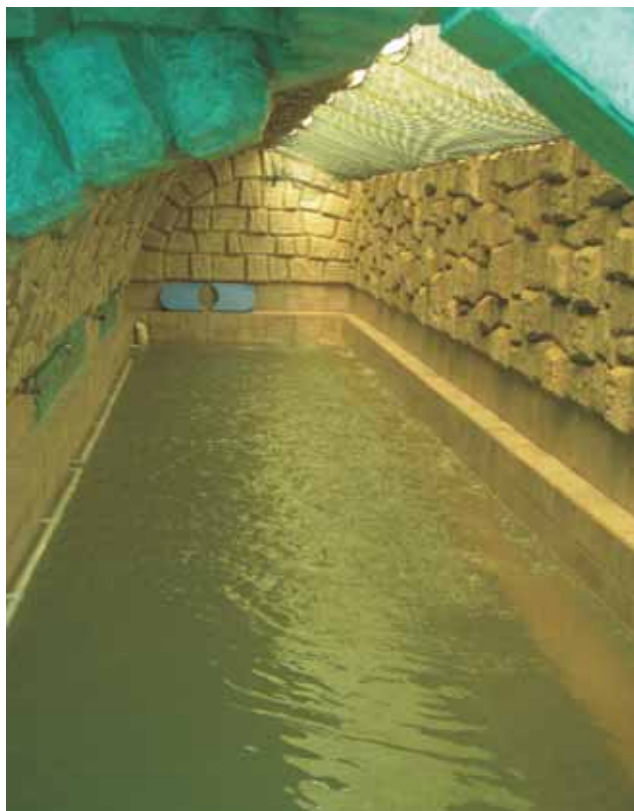
Data	pH	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Fe <sub>tot</sub>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Br	Cl <sup>-</sup>
		[mg/dm <sup>3</sup> ]									
09.06.1972	6,0	26000	2510	893	190	4,2	47020	440	202	136	3,4
20.02.2002	6,6	26600	2557	899	198	12,5	47932	579	204	133	3,6
21.02.2006	7,6	26900	2435	918	183	9,8	48212	547	183	-	2,8
24.11.2006	6,5	24830	2826	954	326	14,2	46440	554	198	134	1,0



Rys. 6. Tężnia solankowa wewnątrz piramidy (fot. B. Igliński)

W 2001 roku z inicjatywy Spółki Geotermia Marusza opracowano dokumenty hydrogeologiczne zasobów wód hipertermalnych. Badania składu

chemicznego solanki potwierdziły jej wyjątkowe właściwości lecznicze, co spowodowało umieszczenie jej na liście złóż kopalin leczniczych. Złoża odkrytej solanki są praktycznie niewyczerpalne, gdyż przy wydobyciu 20 tysięcy litrów na godzinę solanki wystarczy na 1000 lat [31].



Rys. 7. Grota Solankowa (fot. B. Igliński)

Od momentu zakończenia procedur dokumentacyjnych, Geotermia przystąpiła do budowy obiektów balneologicznych, umożliwiających wykorzystanie solanki do celów leczniczych. Powstał też 3,5-kilometrowej długości rurociąg dostarczający solankę ze źródła wprost do Ośrodka. Pierwszy obiekt, wyposażony w nowoczesne wanny, inhalatory, urządzenia do krioterapii, salę gimnastyczną, saunę oraz 2 gabinety do masażu powstał w marcu 2006 roku [31].

W maju 2006 oddano do użytku piramidę z tężnią solankową, umożliwiającą nie tylko zbiorową inhalację w obiekcie zamkniętym, ale również

wypoczynek po zabiegach w absolutnej ciszy. Ociekowy słup z wrzosu chińskiego zamknięty jest w budynku piramidy, wzorowanej na proporcjach piramidy Cheopsa w Egipcie (rysunek 6). Zawartość jodków w grudziądzkiej solance ( $3,5 \text{ mg/dm}^3$ ) ma decydujące, zdrowotne znaczenie w inhalacji górnych dróg oddechowych, w leczeniu niedoczynności tarczycy oraz przyspieszonej przemianie materii. Dokładna regulacja temperatury i wilgotności nasączonego solanką powietrza, stwarza szczególny komfort i efektywność inhalacji [31].

W czerwcu 2006 udostępniono Grotę Solankową – pierwsza możliwość grupowych kąpeli oraz gimnastyki w solance. Jako pierwsza w Polsce, grotą wyposażona jest w system podwodnego masażu [31] (rysunek 7).



Rys. 8. Baseny solankowe w Grudziądz (fot. B. Igliński, J. Szeligowski)

W niecały rok później, w maju 2007 nastąpiło otwarcie kolejnych 4 basenów z solanką o różnym stężeniu oraz całą gamą usług towarzyszących, służących poprawie i utrzymaniu zdrowia: 2 gabinety masażu, sala gimnastyczna, salę fitness, salon kosmetyczny, 2 sauny oraz bary witaminowe [31].

W Geotermii Grudziądz funkcjonują następujące baseny:

- brodzik dla dzieci – stężenie soli 2% temperatura 32°C, maksymalna głębokość 0,40 m, powierzchnia 20m<sup>2</sup>. Wyposażony w małą zjeżdżalnię oraz nietonące zabawki,
- basen główny – stężenie soli 3%, temperatura 32°C, maksymalna głębokość 1,1 m, powierzchnia 85 m<sup>2</sup>. W ścianach basenu znajdują się liczne podwodne dysze powietrzne (wodny masaż) oraz napowietrzny wodotrysk,
- basen z przeciwpływem – stężenie soli 3%, temperatura 32°C, głębokość 1,2 m. powierzchnia 10m<sup>2</sup>. Pływanie w miejscu umożliwia silny przeciwpływ wytwarzany przez turbinę o wysokiej mocy,
- basen zewnętrzny – stężenie soli 7,9%, temperatura 30°C, głębokość 1,2m, dodatkową atrakcją jest rozsuwany dach podczas słonecznej pogody (rysunek 8) [31].

#### 4.3. Mszczonów (Termy Mszczonów)

Termy Mszczonowskie, uruchomione w czerwcu 2008 roku, wykorzystują wody geotermalne z Zakładu Górniczego Geotermii Mazowieckiej S.A (patrz rozdział Ciepłownie geotermalne w Polsce). Dwie niecki basenowe o głębokości 1,2–1,3 m (w tym jedna wewnętrzna) połączone kanałem, wypełnione surową wodą geotermalną o temperaturze 32–34°C. Basen rekreacyjny o głębokości 1,2–1,4 m wyposażony został w różnego rodzaju atrakcje wodne, spełniające także funkcje relaksacyjne, takie jak: sztuczna rzeka, masaże ścienne, masaże karku, gejzery powietrzne, ławeczki i leżanki napowietrzające. Główną atrakcją stanowi zjeżdżalnia rynnowa o długości 60 m z wyznaczonym lądowiskiem w strefie basenu rekreacyjnego wyposażona w sygnalizację częstotliwości zjazdów [34].

#### 4.4. Uniejów (Termy Uniejów)

W 2008 roku otwarto „Termy Uniejów” z gorącymi solankami leczniczymi (więcej informacji o parametrach wody w rozdziale „Ciepłownie geotermalne w Polsce”). Kompleks składa się z trzech obiektów: Basenów, Gastronomi oraz Kasztelu Rycerskiego „Na Gorących Źródłach”. Miasto stara się o przyznanie statusu miejscowości uzdrowiskowej [35].

Aktualnie (wrzesień 2010), do dyspozycji turystów pozostają 3 niecki basenowe:

- niecka pływacka z wodą o temperaturze 25–27°, w okresie letnim i 28–30°C w okresie zimowym (rys. 9a),

- niecka solankowa z wodą o temperaturze 33°C w okresie letnim i 36°C w okresie zimowym (rys. 9b), oraz
- niecka dla dzieci z solanką o temperaturze 30°C w okresie letnim (rys. 9c).

Atrakcją są zjeżdżalnie dla dzieci (rys. 9c) oraz dla starszych (rys. 9d) [36].

W bezpośrednim sąsiedztwie kompleksu Termy Uniejów zlokalizowane są:

- pełnowymiarowe boisko piłkarskie z murawą podgrzewaną z zastosowaniem wód termalnych,
- boisko treningowe,
- boisko do siatkówki,
- boisko do piłki plażowej,
- ścianki treningowe do tenisa [35, 36].



a)



b)



c)



d)

Rys. 9. Termy w Uniejowie; opis w tekście (fot. B. Igliński, J. Szeligowski)

W Uniejowie ze zdrowotnych właściwości wody geotermalnej można również korzystać w Gabinetzie Balneologicznym mieszczącym się w budynku Geotermii Uniejów. Gabinet poleca:

- kąpiele perełkowe – wskazane przy chorobach stawów, mięśni, żyłkach, zmianach skórnych i alergicznych oraz stanach napięcia emocjonalnego, bezsenności i nerwicach,
- masaże podwodne – wskazane przy chorobach układu kostno-stawowego, chorobach mięśni, chorobach neurologicznych, obrzękach kończyn dolnych, cellulitis, nerwicach wegetatywnych, chorobach alergicznych skóry, nadciśnieniu tętniczym,
- body detox – usuwanie toksyn z organizmu,
- inhalacje wodami mineralnymi, olejkami, lekami i środkami leczniczymi – wskazane przy wszelkiego rodzaju stanach zapalnych dróg oddechowych, stanach depresyjnych, bólach głowy, przeziębieniach, zapaleniu oskrzeli, zatok, nerwobólach, stanach wyczerpania fizycznego i psychicznego, alergiach,
- kąpiele częściowe – moczenie kończyn dolnych i górnych oraz
- masaże lecznicze, izometryczne, odchudzające, relaksacyjne, tybetańskie, limfatyczne i sportowe – kinezyterapię, świecowanie ucha, refleksologię stóp, akupunkturę oraz akupresurę [36, 37].

Uniejów, mimo że jest to niewielkie miasto, urzeka swoim pięknem. Spacerując jego uliczkami, natrafimy na wiele pamiątek historycznych, parków zieleni, jak również atrakcji „geotermalnych”. Są to fontanny z których tryska gorąca woda geotermalna: przy Termach (rysunek 10), armaty nad Wartą (rysunek 11) oraz w parku (rysunek 12).



Rys. 10. Fontanna geotermalna przy Termach (fot. B. Igliński)



Rys. 11. Armaty „geotermalne” w Uniejowie (fot. B. Igliński)



Rys. 12. Fontanna geotermalna w parku w Uniejowie (w remoncie) (fot. B. Igliński)

#### 4.5. Szaflary (*Termy Podhalańskie*)

Termy Podhalańskie w Szaflarach uruchomiono na wiosnę 2008 roku, wykorzystuje się tu wody termalne z Zakładu Górniczego PEC Geotermia Podhalańska S.A (patrz rozdział „Ciepłownie geotermalne w Polsce”) [38].

Termy Podhalańskie to kompleks całorocznych basenów termalnych, zarówno wewnętrznych jak i zewnętrznych o łącznej powierzchni 970 m<sup>2</sup>. Baseny zewnętrzne również zostały wyposażone w urządzenia do hydromasażu, a nad częścią basenu rozpięta jest siatka do wspinaczki. Woda w basenach ma temperaturę w zakresie od 30 do 38°C, jej właściwości lecznicze działają na układ mięśniowo-kostny, łagodzą objawy chorób skórnych oraz poprawiają samopoczucie. W skład kompleksu wchodzi:

- basen wewnętrzny z trójtorową zjeżdżalnią rodzinną,
- basen wewnętrzny wielofunkcyjny z urządzeniami do hydromasażu,
- basen zewnętrzny „wypływowy” z urządzeniami do hydromasażu,
- zewnętrzny brodzik dla dzieci z fontanną BUBU, oraz
- basen zewnętrzny rekreacyjny z urządzeniami do hydromasażu oraz rwąką rzeką [28, 38].

Woda termalna, która wypełnia niecki basenowe jest wodą zmineralizowaną i z powodzeniem może zostać wykorzystana w balneologii. Jej właściwości lecznicze działają kojąco m. in. na układ mięśniowo-stawowy, nerwice, łagodzą objawy chorób skórnych, poprawiają samopoczucie. Ten pozytywny efekt potęgowany będzie przez liczne urządzenia do hydromasażu wodnego i powietrznego [28, 38].

#### 4.6. Zakopane (*Aquapark w Zakopanem*)

Aquapark „Zakopane”, otwarty w grudniu 2006 r., korzysta z wody termalnej z własnego zakładu górniczego eksploatującego ujęcia otworowe Zakopane IG-1 i Zakopane 2 [28, 39].

Aquapark w Zakopanem oferuje swoim gościom liczne atrakcje. Dla fanów pływania przygotowano dwa baseny rekreacyjno-pływackie: wewnętrzny o powierzchni 384,5 m<sup>2</sup> i długości 25 m z wodą o temperaturze 28,5°C z trzema torami pływackimi oraz z biczami wodnymi w części rekreacyjnej, basen ma głębokość 13–150 cm; basen zewnętrzny o powierzchni 390,8 m<sup>2</sup> i temperaturze wody 28,5°C [28, 39].

Położony wewnątrz budynku basen rekreacyjny stanowi idealne miejsce wypoczynku dla całych rodzin – wyposażony jest w liczne urządzenia do hydromasażu: bicze wodne, kaskady oraz leżanki podwodne. Jedną z atrakcji Aquaparku są rurowe zjeżdżalnie wodne – czerwona (106 m długości,

wysokości 12m, prędkość max 26 km/h) oraz zielona (166,5 m długości, 16,7 m wysokości, a prędkość max to 26 km/h). Oprócz nich na terenie aquaparku umieszczono również 3 mniejsze zjeżdżalnie. Dla najmłodszych niewątpliwą atrakcją jest brodzik o temperaturze wody 33 °C [28, 39].



Rys. 13. Aquapark w Zakopanem (fot. M. Cichosz)

#### 4.7. Zakopane (Polana Szymoszkowa)

Kąpielisko geotermalne na „Polanie Szymoszkowej” uruchomiono pod koniec 2007 roku, dla turystów udostępnione jest od kwietnia 2009 roku. Kąpielisko działa w oparciu o własny zakład górniczy eksploatujący wody termalne z odwiertu Szymoszkowa GT-1. Basen termalny na Polanie Szymoszkowej położony jest w pobliżu Hotelu Mercure-Kasprowy. Woda w basenie pochodząca z odwiertu geotermalnego ma temperaturę 30°C, a dzięki wysokiej

zawartości minerałów posiada właściwości lecznicze. Badania PAN wskazują, iż woda z odwiertu to woda termalna, zmineralizowana, lecznicza. Uznana została za wodę leczniczą o charakterze wodorowęglanowo-chlorkowo-magnezowo-sodowym [28, 40].

## 5. Podsumowanie

Aktualnie (październik 2010), ciepłe wody geotermalne wykorzystywane są w 7 uzdrowiskach i 7 „termach”/basenach (rysunek 14), są one głównie zlokalizowane na południu Polski.

Z każdym rokiem przybywa miejsc w Polsce, gdzie turysta może wypocząć, korzystając z ciepła wody geotermalnej. Warto wspomnieć o Gostyninie (patrz rozdział „Ciepłownie geotermalne w Polsce”, gdzie planuje się, na wzór Uniejowa, wykorzystać wodę geotermalną zarówno w ciepłownictwie jak i w balneologii/rekreacji.



Rys. 14. Uzdrowiska (kolor zielony) i „termy”: (kolor czerwony) wykorzystujące wodę geotermalną w Polsce (stan na październik 2010)

W 2011 roku ofertę basenów termalnych na terenie Podhala wzbogaci nowy ośrodek w Białce Tatrzańskiej – Terma Bania (rysunek 15). Kompleks basenów

termalnych umiejscowiony zostanie w centrum Białki, w bezpośrednim sąsiedztwie znanego Ośrodka Narciarskiego Bania oraz Ośrodka Narciarskiego Kotelnica Białczańska. Na terenie 10000 m<sup>2</sup> będą mieścić się: baseny rekreacyjne dla dorosłych i dzieci (ze specjalnie wyznaczoną strefą dla najmłodszych) oraz zjeżdżalnie wodne w strefie głośnej, a także specjalna strefa cicha (baseny relaksacyjne), strefa saunarium (w skład której wchodzi 5 saun, w tym zewnętrzna sauna „Bania”), strefa SPA i VIP oraz część gastronomiczna [28, 41].



Rys. 15. Terma Bania [41]

## 6. Literatura

1. <http://mineralne.pgi.gov.pl> (wejście 06.09.10).
2. K. Saysse-Tobiczyk, *Uzdrowiska polskie: ilustrowany przewodnik po zdrojowiskach, stacjach klimatycznych, kąpieliskach morskich, wczasowiskach i miejscach wypoczynkowych*, Wyd. „Polskiego Archiwum Krajoznawczego i Fotografii Dokumentalnej”, Warszawa 1947.
3. <http://www.mz.gov.pl> (wejście 09.09.10).
4. T. Latour, *Aktualny stan i dalsze możliwości wykorzystania w Polsce wód termalnych do celów leczniczych, profilaktycznych oraz rekreacji*, Technika Poszukiwań Geologicznych 46(2), 63–67, 2007.
5. Z. Pazdro, *Hydrogeologia ogólna*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1990.

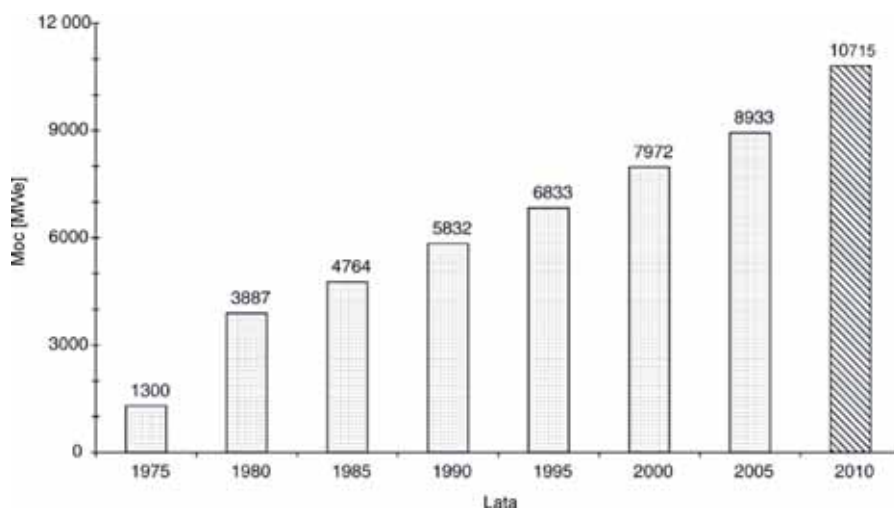
6. A. R. Szrama (red.), *Uzdrowiska i ich znaczenie w gospodarce turystycznej*, Wyd. „Proksenia”, Kraków 2010.
7. Ustawa z dnia 28 lipca 2005 r. o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz o gminach uzdrowiskowych. Dz. U. z 2005 r. Nr 167, poz. 1399 z późn. zmianami.
8. D. Iwanowska-Jeske (red.), *Uzdrowisko Ciechocinek: zarys monograficzny*, Wyd. „Sport i Turystyka”, Warszawa 1983.
9. S. Kubiak, *Ciechocinek Dzieje uzdrowiska*, LEG Oficyna Wydawnicza Włocławskiego Towarzystwa Naukowego, Włocławek 2001.
10. B. Igliński, J. Szeligowski, *Konsultacje z kuracjuszami/turystami*, Ciechocinek 2001–2010 (materiały niepublikowane).
11. B. Kępińska, A. Łowczowska, *Wody geotermalne w lecznictwie, rekreacji i turystyce*, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2002.
12. A. Krawiec, *Wody termalne w uzdrowisku Ciechocinek*, Technika Poszukiwań Geologicznych 48(2), 73–77, 2009.
13. M. Papaj, *Cieplice-Zdrój: uzdrowiskowa dzielnica Jeleniej Góry: ilustrowany przewodnik z mapami: atrakcje uzdrowiska, wycieczki w okolice, lecznictwo*, Wyd. Turystyczne „Plan”, Jelenia Góra 2008.
14. J. Dowgiałło, P. M. Leśniak, *Niektóre wyniki hydrogeologicznych obserwacji stacjonarnych wód termalnych w Cieplicach Zdroju*, Biuletyn Geologiczny 21, 265–277, Warszawa 1976.
15. M. Derkowska, J. Sawicki, *Cechy fizyczne wód leczniczych Cieplic Zdroju – zmienność, wzajemne zależności i wpływ warunków meteorologicznych*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej 102, 27–37, 2002.
16. <http://www.karkonosze.ws> (wejście 22.09.10).
17. R. Nowacki, *Duszники Zdrój*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2005.
18. J. Fistek, *Wykorzystanie wód termalnych w uzdrowiskach sudeckich Polski*, Technika Poszukiwań Geologicznych 47(1–2), 3–8, 2008.
19. J. Dowgiałło, *Wody termalne Sudetów*, Acta Geologica Polonica 26(4), Warszawa 1976.
20. J. Michalak, *Iwonicz Zdrój i okolice: Iwonicz Zdrój 1837–1987: 150 lat działalności przedsiębiorstwa uzdrowiskowego*, Krajowa Agencja Wydawnicza, Rzeszów 1987.
21. <http://www.iwonicz-zdroj.pl> (wejście 28.09.10).
22. <http://www.konstancin.com> (wejście 28.09.10).
23. <http://www.e-kurort.pl/uzdrowiska> (wejście 28.09.10).
24. W. Ciężkowski, *Ladek Zdrój*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2008.
25. <http://www.ladek.pl> (wejście 30.09.10).
26. W. Sosna, *Ustroń, Wisła, Szczyrk i okolice: przewodnik*, Wyd. „Sport i Turystyka”, Warszawa 1977.
27. <http://www.uzdrowisko-ustron.pl> (wejście 29.09.10).
28. <http://www.tatrzańskieatrakcje.pl> (wejście 29.09.10).
29. <http://www.termabukowina.pl> (wejście 15.07.10).
30. Materiały promocyjne *Baseny termalne w Bukowinie Tatrzańskiej*, Bukowina Tatrzańska, lipiec 2010.

31. <http://www.geotermiagrudziadz.pl> (wejście 29.06.10).
32. A. Krawiec, *Wyniki badań izotopowych i chemicznych wód leczniczych w rejonie Grudziądza*, XI międzynarodowa konferencja naukowa „Hydrogeochemia”. Bratysława 2007.
33. <http://www.ruse-europe.org> (wejście 29.09.10).
34. <http://www.termy-mszczonow.eu> (wejście 30.09.10).
35. <http://www.uniejow.pl> (wejście 22.07.10).
36. <http://www.termyuniejow.pl> (wejście 22.07.10).
37. <http://www.geotermia-uniejow.pl> (wejście 22.07.10).
38. <http://www.termypodhalanskie.pl/pl> (wejście 30.09.10).
39. <http://www.aquapark.zakopane.pl> (wejście 30.09.10).
40. <http://szymoszkowa.pl> (wejście 30.09.10).
41. <http://www.termabania.pl> (wejście 01.10.10).

# WYKORZYSTANIE ENERGII GEOTERMALNEJ NA ŚWIECIE

## 1. Wprowadzenie

Obecnie, energia geotermalna na świecie wykorzystywana jest w 73 krajach; w 71 krajach ma bezpośrednie zastosowanie (ogrzewanie, suszenie, balneologia, itp.), zaś w 24 stosowana jest do produkcji prądu elektrycznego. Jeszcze w 1960 r. elektrownie geotermalne pracowały zaledwie w 5 krajach (Włochy, Islandia, Nowa Zelandia, Kenia, Japonia), zaś w 2005 r. już w 24 krajach świata (tabela 1) [1, 2, 3]. Pozostaje mieć nadzieję, że dzięki projekto- wi w Uniejowie, 25 krajem produkującym elektryczność z geotermii będzie Polska.



Rys. 1. Moc elektrowni geotermalnych w latach 1975–2010 [1, 2, 3]

Międzynarodowa Agencja Geotermalna (IGA) poinformowała [1], iż w 24 krajach na świecie moc elektrowni geotermalnych osiągnęła 10715 MW<sub>e</sub> (rysunek 1), co pozwoli w obecnym (2010) roku wyprodukować 67246 GW<sub>e</sub>h energii elektrycznej [3]. Oznacza to 20%-owy wzrost produkcji energii elektrycznej względem 2005 r. Największy udział mocy posiadają USA (3086 MW<sub>e</sub>) i Filipiny (1904 MW<sub>e</sub>). Wiele instalacji geotermalnych jest obecnie na etapie realizacji, w związku z czym IGA przewiduje niemal dwukrotny wzrost mocy do 2015 r., do poziomu 18500 MW<sub>e</sub> [1].

Elektrownie geotermalne budowane były dotąd niemal wyłącznie na krawędziach lub uskokiach płyt tektonicznych, gdzie woda, para oraz skały o wysokiej temperaturze dostępne są w pobliżu powierzchni Ziemi. Rozwój elektrowni pracujących w cyklu binarnym (z freonem), liczne ulepszenia w technologii prowadzenia odwiertów oraz technologia pozyskania energii geotermalnej umożliwia jej wykorzystanie w produkcji energii elektrycznej na wielu obszarach Ziemi [3].

Tabela 1. Produkcja ciepła i energii elektrycznej w zakładach geotermalnych w 2005 r., (opracowanie własne na podstawie [2, 3])

Państwo	Moc cieplna [MW <sub>t</sub> ]	Produkcja ciepła [GW <sub>t</sub> h/rok]	Moc elektryczna [MW <sub>e</sub> ]	Produkcja energii [GW <sub>e</sub> h/rok]	Liczba elektrowni	Moc sumaryczna [MW]
Albania	9,6	2,4	–	–	–	9,6
Algeria	152,3	671,4	–	–	–	152,3
Argentyna	149,9	169,2	–	–	–	149,9
Armenia	1,0	4,2	–	–	–	1,0
Australia	109,5	824,5	0,2	0,5	1	109,7
Austria	352,0	619,5	1,2	3,2	2	353,2
Belgia	63,9	119,8	–	–	–	63,9
Białoruś	2,0	3,7	–	–	–	2,0
Brazylia	360,1	1839,7	–	–	–	360,1
Bułgaria	109,6	464,3	–	–	–	109,6
Chile	8,7	36,4	–	–	–	8,7
Chiny	3687,0	12604,6	28	96	13	3715
Chorwacja	114,0	189,4	–	–	–	114,0
Czechy	204,5	338,9	–	–	–	204,5
Dania	330,0	1222,3	–	–	–	330,0
Egipt	1,0	4,2	–	–	–	1,0
Ekwador	5,2	28,4	–	–	–	5,2

Tabela 1. Produkcja ciepła i energii elektrycznej (ciąg dalszy)

Państwo	Moc cieplna [MW <sub>t</sub> ]	Produkcja ciepła [GW <sub>t</sub> h/rok]	Moc elektryczna [MW <sub>e</sub> ]	Produkcja energii [GW <sub>e</sub> h/rok]	Liczba elektrowni	Moc sumaryczna [MW]
Etiopia	1,0	4,2	7,3	b.d.	2	8,3
Filipiny	3,3	11,0	1930	9253	57	1933,3
Finlandia	260,0	541,7	–	–	–	260,0
Francja	308,0	1443,4	15	102	2	323,0
Gwatemala	2,1	14,6	33	212	8	35,1
Grecja	74,8	167,6	–	–	–	74,8
Gruzja	250,0	1752,1	–	–	–	250,0
Hiszpania	22,3	96,5	–	–	–	22,3
Holandia	253,5	190,3	–	–	–	253,5
Honduras	0,7	4,7	–	–	–	0,7
Indie	203,0	446,2	–	–	–	203,0
Indonezja	2,3	11,8	797	6085	15	799,3
Iran	30,1	209,0	–	–	–	30,1
Irlandia	20,0	28,9	–	–	–	20,0
Islandia	1844,0	6806,1	202	1483	19	2046
Izrael	82,4	609,2	–	–	–	82,4
Japonia	b.d.	b.d.	535	3467	19	535,0
Jemen	1,0	4,2	–	–	–	1,0
Jordania	153,3	427,8	–	–	–	153,3
Kanada	461,0	707,3	–	–	–	461,0
Kenia	10,0	22,0	129	1088	9	139,0
Kolumbia	14,4	79,7	–	–	–	14,4
Korea Płd.	16,9	48,7	–	–	–	16,9
Kostaryka	1,0	5,8	163	1145	5	164,0
Litwa	1,6	8,8	–	–	–	1,6
Łotwa	21,3	127,2	–	–	–	21,3
Macedonia	62,3	166,33	–	–	–	62,3
Meksyk	164,7	536,7	953	6282	36	1117,7
Mongolia	6,8	59,2	–	–	–	6,8
Nepal	2,1	14,5	–	–	–	2,1
Niemcy	504,6	2909,8	0,2	1,5	1	504,8
Nikaragua	–	–	77	271	3	77
Norwegia	600,0	857,0	–	–	–	600,0
Nowa Zelandia	308,1	1968,5	435	2774	33	743,1

Tabela 1. Produkcja ciepła i energii elektrycznej (ciąg dalszy)

Państwo	Moc cieplna [MW <sub>t</sub> ]	Produkcja ciepła [GW <sub>t</sub> h/rok]	Moc elektryczna [MW <sub>e</sub> ]	Produkcja energii [GW <sub>e</sub> h/rok]	Liczba elektrowni	Moc sumaryczna [MW]
Papua Nowa Gwinea	0,1	0,3	6	17	1	6,1
Peru	2,4	13,6	–	–	–	2,4
Polska	170,9	232,9	–	–	–	170,9
Portugalia	30,6	107,0	16	90	5	46,6
Rosja	308,2	1706,7	79 (81,6 <sup>1</sup> )	85	11	387,2
Rumunia	145,1	789,2	–	–	–	145,1
Salwador	–	–	151	967	5	151
Serbia	88,8	659,8	–	–	–	88,8
Słowacja	187,7	842,8	–	–	–	187,7
Słowenia	49,6	202,7	–	–	–	49,6
Szwajcaria	581,6	1174,9	–	–	–	581,6
Szwecja	3840,0	10000,8	–	–	–	3840
Tajlandia	2,5	22,0	0,3	1,8	1	2,8
Turcja	1495,0	6900,5	20	105	1	1515
Ukraina	10,9	33,0	–	–	–	10,9
USA	7817,4	8678,2	2564	17917	209	10381,4
Wenezuela	0,7	3,9	–	–	–	0,7
Węgry	694,2	2205,7	–	–	–	694,2
Wielka Brytania	10,2	12,7	–	–	–	10,2
Wietnam	30,7	22,4	–	–	–	30,7
Włochy	606,6	2098,5	791	5340	32	1397,6
Wyspy Karaibskie	0,1	0,8	–	–	–	0,1

W zależności od posiadanych złóż, klimatu, zaawansowania technologii i polityki energetycznej danego kraju, w poszczególnych państwach, ze źródeł geotermalnych wytwarza się głównie ciepło (np. Dania, Polska, Szwajcaria), produkcja ciepła i prądu elektrycznego jest na podobnym poziomie (Nowa Zelandia, Portugalia) bądź wytwarzany jest głównie prąd elektryczny (Nikaragua, Salwador). Liderem w wykorzystaniu energii geotermalnej jest USA, biorąc jednak pod uwagę produkcję energii w przeliczeniu na mieszkańca i na jednostkę powierzchni, to zdecydowanym liderem jest Islandia. Polska na tle innych krajów wypada przeciętnie, bowiem produkcja ciepła w Polsce

to zaledwie 232,9 GWh (2005 r.), podczas gdy przykładowo w duzo mniejszej Danii wielkość ta wynosi 1222,3 GWh (2005 r.). Jest to wynikiem węglowej wizji przyszłości energetycznej Polski.

Pomimo stale pojawiających się nowych elektrowni geotermalnych, to jednak nadal najważniejsze wykorzystanie ciepła geotermalnego to tzw. bezpośrednie wykorzystanie (tabela 2). W ostatnich latach na całym świecie, również w Polsce, bardzo duzo przybywa geotermalnych pomp ciepła (rozdział: „Pompy ciepła w Polsce”) [3, 4].

Tabela 2. Bezpośrednie wykorzystanie energii geotermalnej na świecie w 2005 r., (opracowanie własne za [3])

Wykorzystanie	Moc [MW]		Wykorzystanie [GW,h]	
	2000 r.	2005 r.	2000 r.	2005 r.
Geotermalne pompy ciepła	52735	15384	6284	23626
Baseny i kąpieliska	3957	5401	21477	22415
Ogrzewanie pomieszczeń	3263	4366	11590	14919
Ogrzewanie szklarni	1246	1404	4823	5578
Ogrzewanie stawów hodowlanych	605	616	3168	2964
Wykorzystanie w przemyśle	474	484	2759	2934
Chłodzenie/topnienie śniegu	114	371	287	549
Suszenie produktów rolnych	74	157	280	544
Inne	137	86	819	282

## 2. Wykorzystanie energii geotermalnej w wybranych krajach

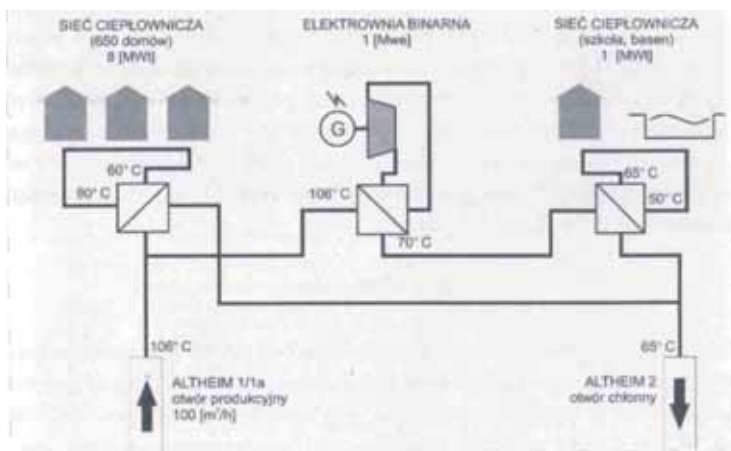
### 2.1. Austria

W Austrii ma obecnie miejsce boom na pompy ciepła – około 2000 pomp ciepła instalowanych jest rokrocznie. W Austrii pracują 4 ciepłownie geotermalne, elektrownie w Altheim i Blumau, na szeroką skalę ciepło geotermalne wykorzystuje się w uzdrowiskach i centrach rekreacji, szczególnie w Stryrii i Burgerlandzie [3, 5].

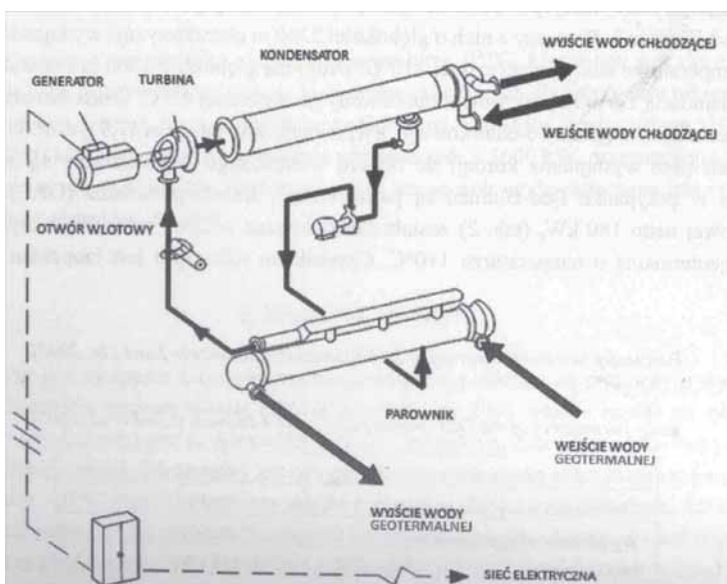
#### *Altheim*

Od 2000 r. w pięcioletnim Altheim pracuje instalacja binarna, w której pozyskuje się ciepło i energię elektryczną (rysunek 2). Woda geotermalna o temperaturze 106°C i wydajności otworu eksploatacyjnego dochodzącej do 100 m<sup>3</sup>/h eksploatowana jest z głębokości 2300 m. Czynnikiem roboczym

wykorzystywanym w instalacji binarnej jest dichlorofluorometan, który odbiera ciepło z wody geotermalnej w wymienniku ciepła (rysunek 3). Temperatura parowania czynnika roboczego wynosi 28–30°C, a powstała w ten sposób para napędza turbinę (rysunek 3). Odparowane medium jest następnie chłodzone, ulega kondensacji, po czym obieg rozpoczyna się od nowa [6].



Rys. 2. Schemat elektrowni i systemu ciepłowniczego w Altheim [6]



Rys. 3. Schemat turbogeneratorski w Altheim [6]

Moc wyjściowa instalacji wynosi  $500 \text{ kW}_e$  netto, przy uwzględnieniu  $350 \text{ kW}_e$  niezbędnych do zasilania pompy głębinowej daje  $100 \text{ kWh}$  miesięcznie. Po wykorzystaniu w instalacji binarnej, woda geotermalna o temperaturze  $70^\circ\text{C}$ , oddaje ciepło na potrzeby centralnego ogrzewania i podgrzewania wody użytkowej w budynku szkolnym [6].

### *Bad-Blumau*

W Bad-Blumau wykorzystywana jest woda geotermalna o temperaturze  $110^\circ\text{C}$ , która wypływa z głębokości  $2360 \text{ m}$ . Czynnikiem roboczym jest 2,2-dimetylopropan. Woda wylotowa z wymiennika o temperaturze  $85^\circ\text{C}$  wykorzystywana jest do celów grzewczych kompleksu paleontologiczno-rekreacyjnego. Moc cieplna elektrowni wynosi  $5100 \text{ kW}_t$ , zaś elektryczna  $180 \text{ kW}_e$  [6, 7].

## 2.2. Chiny

Chińczycy od dawna wykorzystują gorącą wodę geotermalną do codziennych czynności, nawadniania pól uprawnych oraz w celach leczniczo-zdrowotnych. Lekarz dynastii Ming, Li Shi-zhen, mawiał, że „...*jeśli zachorujesz, najlepszym lekarstwem jest kąpiel w gorących źródłach...*” [5, 8]. Gorące wody geotermalne w Chinach mają często niską mineralizację, są więc idealne do produkcji win, likierów i do przygotowywania naparu herbacianego. Niektóre ze źródeł geotermalnych miały znaczenie strategiczne i korzystało z nich wyłącznie wojsko. Do Jiunquan – Złotego Ujęcia w prowincji Gansu – podczas wojen dynastii Han przybywali żołnierze leczyć rany odniesione w bitwach i odzyskiwać siły. Również tradycyjna medycyna wykorzystuje gorące wody geotermalne do kuracji „zimnych chorób”, takich jak artretyzm, reumatyzm czy wszelkie nieprawidłowości ruchowe, osiągając rezultaty, które do dziś zadziwiają.

Tybet, należący do Chin jest obszarem, w którym  $1/3$  energii elektrycznej (największy udział procentowy na świecie) pochodzi z energii geotermalnej, rocznie produkuje się tam niemal  $100 \text{ GW}_e\text{h}$  [3].

## 2.3. Etiopia

Pomimo, iż Etiopia to jeden z najbiedniejszych krajów świata, również i tam w regionie Aluto-Langano od 1999 r. pracują 2 elektrownie binarne o łącznej mocy  $7,3 \text{ MW}_e$ . Potencjał złoże o maksymalnej głębokości  $2500 \text{ m}$  i temperaturze  $350^\circ\text{C}$  szacuje się na poziomie  $30 \text{ MW}_e$  [3].

#### 2.4. Filipiny

Filipiny są potentatem światowym w produkcji energii elektrycznej z geotermii. Moc elektrowni osiągnęła niemal 2 GW<sub>e</sub> (tabela 3) [3].

Tabela 3. Produkcja energii elektrycznej ze źródeł geotermalnych na Filipinach [3]

Położenie	Moc [MW <sub>e</sub> ]	Liczba jednostek	Produkcja energii [GW <sub>e</sub> h/rok]
Tongonan	723	21	4746
Mak-Ban	426	16	1538
Tiwi	330	6	442
Palinpinon	192	7	1257
Bac-Man	151	5	457
Mt. Apo	108	2	813
Łącznie	1930	57	9253

#### 2.5. Francja

We Francji, a dokładniej na wyspie Guadeloupe pracuje elektrownia geotermalna Bouillante-1 o mocy 15 MW<sub>e</sub>. Obecnie budowana jest druga elektrownia Bouillante-2 o mocy 10 MW<sub>e</sub>, co pozwoli pokryć 20% zapotrzebowania na energię elektryczną wyspy [3].

#### 2.6. Gwatemala

Od 1972 r. wykorzystuje się zasoby geotermalne Gwatemali na cele energetyczne; występują tu 3 obszary geotermalne: Amatitlán, Zunil I i Zunil II. Mimo, że praktycznie obszary Zunil sąsiadują ze sobą, to ich zasoby są rozdzielone [3, 9].

Na obszarze Amatitlán od 1998 r. pracuje elektrownia o mocy 5 MW<sub>e</sub>, od 2005 r. budowana jest elektrownia binarna o mocy 20,5 MW<sub>e</sub>. W najbliższych 5 latach moc elektrowni ma wzrosnąć do 50 MW<sub>e</sub>. Na obszarze Zunil I występują zasoby geotermalne o temperaturze 300°C na głębokości 1500–2300 m. Pracuje tu 7 elektrowni binarnych o łącznej mocy 28 MW<sub>e</sub>. Potencjał obszaru Zunil II szacuje się na poziomie 50 MW<sub>e</sub>, aktualnie wiercone są tam studnie badawcze [3, 9].

## 2.7. Indie

W Indiach znanych jest obecnie ponad 320 źródeł geotermalnych, które są związane z aktywną strefą subdukcji płyt kontynentalnych [5, 10]. Historia i kultura Indii jest silnie związana z gorącymi źródłami, gdyż od wieków czczony jest tam bóg Sziwa. Uważano, że gorące wody zostały przekazane ludziom przez bóstwa. Ludzie czcili i czczą ciepłe źródła, będąc świadomi ich terapeutycznej wartości. Sama kąpiel w gorącej wodzie to swoisty religijny rytuał, połączony z obrzędami i modlitwami odprawianymi w świątyniach budowanych przy gorących źródłach. W tabeli 4 przedstawiono miejscowości posiadające najbardziej znane źródła geotermalne wraz z listą ich terapeutycznego zastosowania [5, 10].

Tabela 4. Źródła geotermalne oraz ich terapeutyczne wykorzystanie [5, 10]

Miejscowość	Terapeutyczne wykorzystanie wód geotermalnych
Anhoni	Choroby skórne, niestrawność
Ganeshpuri	Paraliż
Rajapur	Reumatyzm
Rajgij	Reumatyzm, paraliż, leukodermia
Taptapani	Choroby skórne
Vajreswari	Trąd, gościec

## 2.8. Indonezja

Indonezja posiada potencjał geotermalny o mocy 797 MW<sub>e</sub> (tabela 5), natomiast ilość pozyskiwanej energii wynosi 6085 GW<sub>e</sub>h rocznie [3].

Tabela 5. Produkcja energii elektrycznej ze złóż geotermalnych w Indonezji [3]

Obszar geotermalny	Położenie	Moc [MW <sub>e</sub> ]	Liczba jednostek
Gunung Salak	Jawa	330	6
Kamojang		140	3
Darjat		135	2
Wayang Windu		110	1
Dieng		60	1
Lahendong	Sulawesi	20	1
Sibayak	Sumatra	2	1
Łącznie		797	15

Pierwsza, wówczas największa turbina geotermalna na świecie, Wayang Windu Unit 1 pozwalająca osiągnąć moc 110 MW<sub>e</sub> została uruchomiona w 1999 roku. 2 marca 2009 r. indonezyjski minister energii i zasobów oficjalnie uruchomił jeszcze większą turbinę Wayang Windu Unit 2, zapewniającą moc generatora 117 MW<sub>e</sub>. Łączna moc elektrowni to 227 MW<sub>e</sub>; ma być zwiększona o kolejne 127 MW<sub>e</sub> w połowie 2013 roku [11].

### 2.9. Islandia

Islandia to kraj, który słynie ze zjawisk geotermalnych. Energia geotermalna wykorzystywana jest do ogrzewania przez ponad 90% Islandczyków. Kraj został podzielony na 29 rejonów grzewczych, z których każdy obsługuje od jednego do kilku rejonów miejskich [12].

Pierwsi osadnicy, którzy przybywali na wyspę w X wieku zakładali swoje siedziby w sąsiedztwie gorących źródeł i emanacji par. Stąd też pochodzą nazwy większości miejscowości, przykładowo Reykiawik w języku islandzkim oznacza „zatokę par”. Od dawna wykorzystuje się gorące źródła w celach gospodarczych oraz rekreacyjnych, w źródłach geotermalnych dokonywano obrządku chrztu [5].

Współcześnie, korzystanie z pływalni i lecznictwa geotermalnego jest najbardziej popularnym sposobem wypoczynku i odnowy biologicznej dla Islandczyków, ważnym, dochodowym i stale rozwijającym się sektorem usług turystycznych. Korzystanie z basenów geotermalnych jest na tyle popularne, że południową przerwę w pracy większość Islandczyków spędza na pływalniach. Islandia posiada długoletnie tradycje geotermalnego lecznictwa uzdrowiskowego, w 1937 r. założono Islandzkie Towarzystwo Leczenia Metodami Naturalnymi [5].

Energia geotermalna wykorzystywana jest na Islandii do ogrzewania, rekreacji i balneologii w ogromnej skali. Wzrasta również znaczenie produkcji prądu z energii geotermalnej, elektrownie geotermalne mają równie ekologiczną i tanią konkurencję w postaci elektrowni wodnych. Islandia w najbliższym czasie jako pierwszy kraj na świecie w ogóle nie będzie korzystać z paliw kopalnych. Od 2007 r. [13] wdrażany jest program wprowadzania na rynek samochodów elektrycznych oraz zastępowania paliw ropopochodnych wodorem i ogniwami paliwowymi. Energia niezbędna do produkcji prądu elektrycznego i wodoru pochodzi z elektrowni geotermalnych i wodnych.

### *Hellisheiði*

Elektrownia geotermalna Hellisheiði jest drugą co do wielkości elektrownią geotermalną na świecie i największą w Islandii. W lutym 2009 r., zakład osiągnął moc 213 MW<sub>e</sub>, natomiast moc docelowa to 300 MW<sub>e</sub> i 400 MW<sub>t</sub> [14].

Orkuveita Reykjavíkur [14] przeprowadziła obszerne badania oddziaływania elektrociepłowni geotermalnej w Hellisheiði na środowisko. Wyniki wskazują, że budowa zakładu nie miała trwałego wpływu na roślinność w okolicy. Każdy rodzaj oddziaływania ogranicza się do dziedzin budowy otworów, rur, drogi, kopalni i budynków. Badania jednoznacznie wykazały, że wykorzystanie zasobów geotermalnych w produkcji energii powoduje, iż ilości emitowanych gazów cieplarnianych są niezwykle małe w porównaniu do paliw kopalnych [15].

### *Husavík*

W trzysięcznym Husavíku wykorzystywana jest woda geotermalna o temperaturze 121°C oraz przepływie 90 m<sup>3</sup>/h. Czynnikiem roboczym elektrowni jest mieszanina amoniak-woda. Produkcja prądu elektrycznego wspomagana jest przez ciepło pochodzące z procesu pracy silnika napędzającego generator instalacji biogazowej. Po etapie wytwarzania prądu, woda o temperaturze 80°C wykorzystywana jest do ogrzewania budynków i wody użytkowej [6].

### *Reykjavík i rejon Reykjavík*

Wysoka cena węgla i mroźna zima 1917/18 zmusiły mieszkańców Reykjavíku do poszukiwania tańszego źródła ciepła. Wiercenia na szeroką skalę rozpoczęto w 1928 r. Wywiercono 14 otworów o wydajności ponad 50 m<sup>3</sup>/h i temperaturze wody 87°C. W 1930 r. wybudowano rurociąg o długości 3 km, do którego podłączono szpital, szkołę, pływalnię i 70 gospodarstw domowych. Obecnie, wszystkie domy stolicy Islandii ogrzewane są ciepłem geotermalnym, jest to jednocześnie największy na świecie miejski okręg ciepłowniczy (57% kraju zasilane jest ciepłem z okręgu Reykjavík) o mocy 750 MW<sub>t</sub> [12].

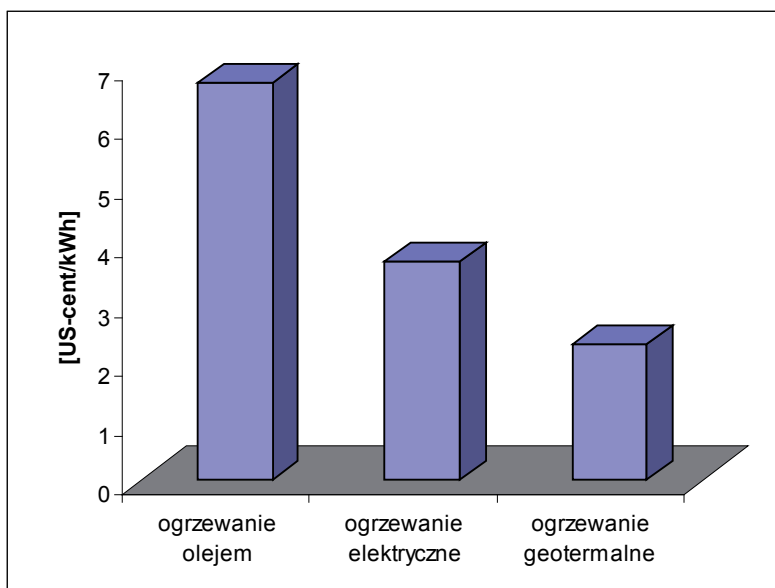
Rejon ciepłowniczy miasta Reykjavík wykorzystuje niskotemperaturowe i wysokotemperaturowe obszary geotermalne. W okolicach miasta występują trzy pola niskotemperaturowe geotermalne, tj. 52 otwory o łącznej wydajności otworów 8092 m<sup>3</sup>/h (tabela 6) [12].

Obszar Hengill znajdujący się na wschód od Reykjavíku jest jednym z największych na Islandii pól wysokotemperaturowych, jego aktywność związana jest z trzema systemami wulkanicznymi. W kompleksie Hengill energię geotermalną wykorzystuje się w mieście Hverageri (ogrzewanie przestrzenne, przemysłowe, szklarniowe) oraz w mieście Nesjavellir [12].

Tabela 6. Charakterystyka pól geotermalnych Reykiawiku [12]

Nazwa pola	Temperatura [°C]	Wydajność otworów [m <sup>3</sup> /h]	Liczba otworów wydobywczych
Laugarnes	125–130	1188	10
Elliðaár	85–95	792	8
Mosfellssveit	85–95	6120	34

W rejonie Nesjavellir wywiercono 23 otwory o głębokości 1000–2200 m z temperaturą sięgającą 380°C. Plany wykorzystania powierzchni Nesjavellir związanej z zagospodarowaniem na energię geotermalną i podgrzewanie wody rozpoczęto w 1947 roku, kiedy niektóre otwory wywiercono do oceny potencjału obszaru do produkcji energii. Badania kontynuowano w latach 1965–86. Budowę ciepłowni o mocy 100 MW<sub>t</sub> rozpoczęto w 1987 r.; do 1990 r. ciepłownia wykorzystywała parę geotermalną, a wodę z czterech otworów używano do podgrzewania rejonu Reykiawik. W 1998 r. uruchomiono dwie turbiny, zaś w 2001 r. kolejną, uzyskując moc niemal 100 MW<sub>e</sub>, zwiększając jednocześnie moc cieplną do 200 MW<sub>t</sub> [12].



Rys. 4. Porównanie cen ogrzewania mieszkań w Islandii (opracowanie własne za [12])

Okręg ciepłowniczy Reykiawik wykorzystuje pojedynczy bądź dubletowy system dystrybucji wody. W przypadku systemu dubletowego, woda powrotna od konsumentów wraca do stacji pomp, gdzie miesza się z cieplejszą wodą geotermalną osiągając 80°C, jeszcze przed ponownym wprowadzeniem do obiegu. W przypadku systemu pojedynczego, przepływ powrotny kierowany jest do systemu zrzutowego [12].

Po użyciu wody ciepłej do ogrzewania budynku, jej temperatura wynosi 25–40°C, wykorzystywana więc jest do topnienia śniegu i lodu zalegającego na chodnikach i jezdniach. Całkowity obszar, na którym stosuje się topnienie śniegu i lodu wodą pochodzenia geotermalnego wynosi w Islandii 0,74 km<sup>2</sup>, zaś zużycie energii wynosi rocznie 320 GWh. Połowa tej energii pochodzi z wykorzystania wody powracającej z systemów grzewczych [12].

Jedną z głównych korzyści zastosowania energii geotermalnej jest czyste powietrze, co bezpośrednio przekłada się na zdrowie mieszkańców Islandii. Bogate złoża geotermalne i rozbudowana infrastruktura sprawiają, że ogrzewanie geotermalne jest w Islandii zdecydowanie najtańsze (rysunek 4).

### 2.10. Japonia

Japonia jako kraj położony na wyspach wulkanicznych, obfituje w gorące pary i wody geotermalne, nic więc dziwnego że najważniejsze ośrodki kultury japońskiej znajdowały się w pobliżu gorących źródeł. Do najważniejszych z nich należą źródła w Yuda – sprzed okresu porcelany (11000 lat p.n.e) w Oyou i Kawazu (11000–300 lat p.n.e) [16]. Okres rządów dynastii Hein to rozkwit japońskich uzdrowisk geotermalnych, masowo odwiedzanych przez szlachtę japońską w celach leczniczych i rekreacyjnych. Przez kolejne (wojenne) stulecia wykorzystywano na szeroką skalę gorące wody do leczenia ran i blizn żołnierzy. Już w 1710 r. wydano w Japonii dwie książki medyczne, w których opisano metody i miejsca leczenia chorób gorącą wodą. Prowadzono wówczas również badania naukowe dotyczące leczniczych właściwości wód geotermalnych. Przykładowo, doktor Konzan Goto wybrał uzdrowisko Konosaki do badań efektów leczniczego oddziaływania wód na takie choroby jak lumbago, beri-beri, paraliż czy dolegliwości związane z menopauzą. Konzan Goto stwierdził, iż dobre wyniki leczenia uzyskuje się zwłaszcza w przypadku chorób przewlekłych, których objawy mogą zostać złagodzone przy zastosowaniu odpowiednich i długotrwałych kuracji wodnych [5, 17]. Opinia ta jest aktualna w balneologii po dziś dzień.

Na początku XX wieku Japonia zaczęła wykorzystywać parę i wodę geotermalną do celów ciepłowniczych oraz do produkcji prądu elektrycznego. Pierwsze eksperymenty przeprowadzono w 1925 r. w Beppu, pierwsza

elektrownia powstała w 1966 r. w Matsukawie. Pierwszy kryzys naftowy sprawił, że od tego momentu produkcja ciepła i elektryczności (tabela 7) rozkwitała na wyspach japońskich<sup>1</sup> [3].

Tabela 7. Produkcja energii elektrycznej z zasobów geotermalnych w Japonii [3]

Prefektura	Moc [MW <sub>e</sub> ]	Liczba jednostek	Produkcja energii [GW <sub>e</sub> h/rok]
Oita	153	7	1108
Iwate	104	3	643
Akita	88	3	619
Fukushima	65	1	400
Kagoshima	60	2	416
Hokkaido	50	1	185
Miyagi	12	1	81
Tokio	3,3	1	15
Łącznie	535,3	19	3467

### 2.11. Kenia

W Kenii na przełomie XX i XXI wieku znacząco wzrosła moc elektrowni geotermalnych – z 45 MW<sub>e</sub> w 1999 r. do 129 MW<sub>e</sub> w 2004 r. Na obszarze Olkaria East pracują 3 turbogeneratory o mocy 15 MW<sub>e</sub> każdy w elektrowni Olkaria I. 25% wykorzystanej solanki jest zatłaczana powrotem do ziemi, reszta odprowadzana jest do otwartego zbiornika solanki. Na obszarze Olkaria North-East pracują dwie 35 MW<sub>e</sub> jednostki elektrowni Olkaria II, otwartej w 2003 r. Jest to nowoczesna elektrownia, która zużywa 7,5 Mg/h/MW pary, podczas gdy Olkaria I potrzebuje 9,2 Mg/h/MW. Olkaria III, będąca własnością prywatnych przedsiębiorców posiada moc 14 MW<sub>e</sub>.

### 2.12. Kostaryka

W Kostaryce gorące wody geotermalne o temperaturze 240°C występują na głębokości 1–2 km na obszarze Miravalles. Pierwszą elektrownię geotermalną (Miravalles I) o mocy 5 MW<sub>e</sub> uruchomiono w 1994 r., kolejną (Miravalles II)

<sup>1</sup> Kryzys był punktem zwrotnym dla energetyki odnawialnej na świecie, w wielu krajach zaczęto wykorzystywać odnawialne źródła energii. Warto wspomnieć choćby o Brazylii która „dzięki” kryzysowi na szeroką skalę korzysta z biopaliw i energetyki wodnej.

o mocy 55 MW<sub>e</sub> w 1998 r, od 2000 r. pracuje trzecia (Miravalles III) o mocy 29,5 MW<sub>e</sub>, a od 2003 r. elektrownia binarna o mocy 18 MW<sub>e</sub>. Elektrownie te produkują rocznie łącznie 1145 GW<sub>e</sub>h energii, co stanowi 15,1% udziału w produkcji całego kraju [3].

W najbliższym czasie planuje się wykorzystywać energię geotermalną na północy kraju, niedaleko wulkanu Rincón de la Vieja. Występują tam złoża o temperaturze 250°C z których można w przyszłości pozyskać 35 MW<sub>e</sub> [3].

### 2.13. Meksyk

Meksyk jest jednym z liderów produkcji energii elektrycznej z geotermii, pracuje tam największa elektrownia geotermalna Cerro Prieto o mocy 720 MW<sub>e</sub>. Obecnie energia geotermalna wykorzystywana jest w Meksyku na czterech obszarach (tabela 8).

Tabela 8. Obszary geotermalne w Meksyku [3]

Położenie	Moc [MW <sub>e</sub> ]	Liczba jednostek	Produkcja energii [GW <sub>e</sub> h/rok]
Cerro Prieto	720	13	5112
Los Azufres	188	14	852
Los Humeros	35	7	285
Las Tres Virgenes	10	2	33
Łącznie	953	36	6282

#### *Cerro Prieto*

Elektrownia geotermalna Cerro Prieto jest największą elektrownią geotermalną na świecie, o mocy zainstalowanej 720 MW<sub>e</sub>, z planami rozbudowy do 820 MW<sub>e</sub> w 2012 roku. Elektrownia składa się z pięciu poszczególnych jednostek: CP1, CP2, CP3, CP4 i CP5 [18, 19].

Jednostka Cerro Prieto I (CP1), uruchomiona w latach 1973–1981 posiada moc zainstalowaną 180 MW<sub>e</sub>, w skład CP1 wchodzi cztery podjednostki o mocy 37,5 MW<sub>e</sub> i jedna o mocy 30 MW<sub>e</sub>. Cerro Prieto II (CP2) posiada moc zainstalowaną 220 MW<sub>e</sub>, na którą składają się dwie podjednostki o mocy 110 MW<sub>e</sub> uruchomione w 1982 r. Bliźniaczą dla CP2 jednostką jest Cerro Prieto III (CP3). Elektrownia CP3 o mocy 220 MW<sub>e</sub> została uruchomiona w 1983. Cerro Prieto IV (CP4) rozpoczęła pracę w lipcu 2000 r., składa się z czterech turbin,

każda o mocy 25 MW<sub>e</sub>. Cerro Prieto V (CP5) jest budowana od września 2009 roku i składać się będzie z dwóch jednostek, każda o mocy 50 MW<sub>e</sub> [18, 19, 20].

### 2.14. Niemcy

W ostatnich latach Niemcy postawili na rozwój odnawialnych źródeł energii. W przypadku geotermii to przede wszystkim pompy ciepła. Od 2003 r. pracuje w Niemczech, w Neustadt-Glewe pierwsza elektrownia geotermalna, planowane są kolejne [3, 6].

#### *Neustadt-Glewe*

W Neustadt-Glewe wykorzystywana jest woda geotermalna o temperaturze 98°C i wydajności 110 m<sup>3</sup>/h. Negatywne oddziaływanie wysoko zmineralizowanych (227 g/dm<sup>3</sup>) wód geotermalnych zostało ograniczone dzięki zastosowaniu elementów instalacji z materiałów tytanowych i włókna szklanego. Od 2003 r. woda geotermalna wykorzystywana jest w systemie binarym, w którym stosuje się n-pentan jako czynnik roboczy. Moc elektrowni wynosi 210 kW<sub>e</sub> [6].

### 2.15. Nikaragua

Nikaragua posiada ogromny, liczony w tysiącach MW<sub>e</sub>, potencjał geotermalny. Moc elektrowni wynosi 77,5 MW<sub>e</sub>, zaś produkcja energii w 2004 r. wyniosła 271 GWh [3].

### 2.16. Nowa Zelandia

Kultura, religia i historia rdzennych mieszkańców Nowej Zelandii (Maorysi) jest nierozdzielnie związana ze zjawiskami geotermalnymi, w które to kraj ten obfituje. Ich podejście do życia i świata można byłoby nazwać dziś „równowagowanym rozwojem”, gdyż wierzono (i nadal wierzy się), iż wszystkie zasoby naturalne, w tym gorące źródła przekazane zostały ludzkiej opiece przez bogów, należy się nimi opiekować, tak by mogły korzystać z nich następne pokolenia. Poszczególne rodziny i klany zamieszkiwały ściśle określone rejony występowania zjawisk geotermalnych, a skrzyżowania ważnych dróg i miejsca spotkań wyznaczane były przy wybranych źródłach geotermalnych. Wyjątkowo ważna rola przypadała „strażnikom zasobów”, którzy mieszkali w pobliżu i opiekowali się nimi w imieniu całej rodziny czy też klanu. Wody i inne

zjawiska geotermalne były integralną częścią życia każdego Maorysa. W wodach przychodził na świat, obok nich mieszkał, w nich zażywał kąpeli, relaksował się, ogrzewał i prowadził życie towarzyskie. Maorysi rozwinęli również medycynę opartą na leczeniu chorób wodami geotermalnymi i produktami hydrotermalnymi [5, 21].

Obecnie, zjawiska geotermalne są główną atrakcją turystyczną Nowej Zelandii, nie tylko ze względu na ich naturalne piękno, ale także unikalne połączenie z historią, kulturą i codziennym życiem mieszkańców [21].

W Nowej Zelandii systematycznie wzrasta liczba elektrowni geotermalnych, osiągając moc całkowitą 435 MW<sub>e</sub> w 2005 r. (tabela 9) [3].

Tabela 9. Produkcja energii elektrycznej z geotermii w Nowej Zelandii [3]

Położenie	Moc [MW <sub>e</sub> ]	Liczba jednostek	Produkcja energii [GW <sub>e</sub> h/rok]
Wairakei-Poihipi	220	11	1505
Ohaaki	105	4	300
Mokai	55	7	470
Rotokawa	31	5	290
Kawerau	14	4	130
Ngawha	10	2	79
Łącznie	435	33	2774

Elektrownia Wairakei została zbudowana w 1958 roku. Elektrownia binarna, pozwalająca wykorzystać parę o niższej temperaturze, została zbudowana w 2005 r., zapewniając wzrost łącznej mocy elektrowni do 181 MW<sub>e</sub> [3, 22].

Elektrownia geotermalna Kawerau posiada moc 100 MW<sub>e</sub>, położona jest na obrzeżach miasta Kawerau, w strefie wulkanicznej Taupo. Budowę elektrowni ukończono w lipcu 2008, kosztowała 300 mln EUR, moc instalacji okazała się większa niż oczekiwano, dzięki czemu elektrownia ta produkuje najwięcej prądu elektrycznego w Nowej Zelandii. Elektrownia Kawerau zwiększyła produkcję energii geotermalnej o 25%, zaspokaja 1/3 popytu na energię w regionie. Dwufazowa turbina w elektrowni wykorzystuje parę z otworów geotermalnych. Gorąca para jest również wykorzystywana w procesach technologicznych w papierni. Dwie małe elektrownie binarne wykorzystują odpadową gorącą wodę geotermalną do produkcji energii elektrycznej [19, 22].

Elektrownia geotermalna Nga Awa Purua otwarta w maju 2010 r. znajduje się w pobliżu Taupo w Nowej Zelandii. Elektrownia Nga Awa Purua jest drugą

co do wielkości elektrownią geotermalną w Nowej Zelandii i posiada największą turbinę geotermalną na świecie [21, 22].

Elektrownia Ngawha znajduje się na Wyspie Północnej w Nowej Zelandii i wykorzystuje pole o powierzchni około 25 km<sup>2</sup>. Elektrownia powstała w 1998 r. o zdolnościach wytwórczych 8 MW<sub>e</sub>, została rozbudowana w 2008 r., co pozwoliło zwiększyć moc do 25 MW<sub>e</sub>. Elektrownia zapewnia 70% energii elektrycznej dla obszaru Northlands [21, 22].

Elektrownia geotermalna Ohaaki Power Station posiada charakterystyczną, jedyną w swoim rodzaju, wysoką na 105 m wieżę chłodniczą ciągu naturalnego. Mimo, że początkowo założono moc 104 MWe, spadek ciśnienia pary spowodował spadek mocy do 65 MW<sub>e</sub> z roczną produkcją na poziomie około 400 GWh. Obecnie, w elektrowni pracują: jedna turbina wysokociśnieniowa i dwie średniociśnieniowe. Na końcu turbin średniociśnieniowych znajdują się kondensatory, w których przebiega kondensacja pary do wody, woda zaś jest zatłaczana z powrotem do Ziemi [21, 22].

### 2.17. *Papua Nowa Gwinea*

Od 2004 r. w Papui Nowej Gwinei w Lihir Island pracuje elektrownia o mocy 6 MW<sub>e</sub>, korzystająca z gorącej wody (250°C) z głębokości 1 km. W planach jest budowa kolejnych elektrowni o mocy 30 MW<sub>e</sub> [3].

### 2.18. *Portugalia*

Od 1998 r. w São Miguel (Azory) pracują 4 jednostki binarne elektrowni Liberia Grande, jak również jedna elektrownia w Pico Vermelho. Łączna moc elektrowni wynosi 16 MW<sub>e</sub>, wystarcza to do zaspokojenia 38% potrzeb wyspy na energię elektryczną. W najbliższym czasie planuje się budowę kolejnych elektrowni geotermalnych, co pozwoli podwoić całkowitą moc elektrowni geotermalnych [3].

### 2.19. *Rosja*

Rosja, jako największy kraj na świecie posiada ogromne zasoby energii geotermalnej. Badania geotermalne w Rosji prowadzone są w 53 ośrodkach naukowych i wyższych uczelniach [4].

Dominującym sposobem wykorzystania zasobów geotermalnych w Rosji jest zaopatrzenie w ciepło miast i wsi, głównie na północnym Kaukazie i na

Kamczatce. Ponadto, w niektórych regionach kraju wykorzystuje się głębokie ciepło do ogrzewania łącznie 465000 m<sup>2</sup> szklarni. Wody termalne wykorzystuje się również w technologicznych procesach przemysłowych, jak również w 150 uzdrowiskach i 40 zakładach butelkowania wody mineralnej. Produkcja elektryczności ogranicza się do kilku elektrowni geotermalnych znajdujących się na Kamczatce i Wyspach Kurylskich. Aktualnie czynne są trzy elektrownie w Pauzhetka (11 MW<sub>e</sub>), dwie w Severo-Mutnovce (12 i 50 MW<sub>e</sub>), jedna w Kuna-shir (2,6 MW<sub>e</sub>) i Iturup (6 MW<sub>e</sub>). W Severo-Mutnovce budowana jest elektrownia o mocy 100 MW<sub>e</sub> [3, 4].

### 2.20. Rumunia

Rumunia, jak wiele innych krajów Europy Środkowej i Wschodniej, posiada znaczne złoża o niskiej temperaturze, rzędu 50–120°C. Pierwszy otwór geotermalny wywiercono w 1885 r. w Felix, poszukiwania ropy naftowej i gazu ziemnego doprowadziły do wywiercenia ponad 200 otworów poczynając od lat 60-tych poprzedniego wieku. Blisko 40 otworów wykorzystywanych jest w lecznictwie i rekreacji w 16 uzdrowiskach, gdzie z dobrodziejstw ciepłej wody geotermalnej może skorzystać niemal milion ludzi rocznie. Ciepłą wodę geotermalną wykorzystuje się w Rumunii również do ogrzewania wody (np. stawy) i powierzchni użytkowych, do ogrzewania szklarni oraz w przetwórstwie przemysłowym: suszenie drewna i ziarna, pasteryzacja mleka oraz obróbka lnu [23].

### 2.21. Salwador

W Salwadorze prąd ze złóż geotermalnych pozyskuje się od 1975 r., obecnie pokrywając 22% zapotrzebowania kraju. Występują tu dwa najważniejsze złoża geotermalne: Ahuachapán i Berlín [3].

W Ahuachapán pracują trzy elektrownie, dwie o mocy 30 MW<sub>e</sub>, jedna o mocy 35 MW<sub>e</sub>. Temperatura na głębokości 600–1500 m osiąga 230–240°C; wykorzystuje się 19 otworów wydobywczych i 5 zatłaczających. Odpadowe ciepło z wykorzystanej wody geotermalnej będzie zagospodarowywane przez projektowaną elektrownię binarną [3].

W Berlín w 1992 r. uruchomiono 2 jednostki geotermalne o mocy łącznej 10 MWe, w 1999 r. rozebrano je i postawiono elektrownię o mocy 28 MW<sub>e</sub>. Bardzo gorące wody (300°C) na tym obszarze pozyskiwane są z głębokości 2000–2500 m. Aktualnie wykorzystuje się tam 9 otworów wydobywczych oraz 15 zatłaczających. W związku ze zwiększeniem mocy do 40 MW<sub>e</sub>, utworzono

4 odwierty badawcze. Planuje się również, że dodatkowe 6,5 MW<sub>e</sub> da planowana elektrownia binarna [3].

W najbliższym czasie moc elektrowni w Salwadorze wzrośnie o kolejne 100 MW<sub>e</sub> dzięki budowie elektrowni w Cuyanausul, San Vincente, Chinamca i Obrajuelo [3].

### 2.22. Słowacja

Słowacja posiada ponad 30 miejscowości z kąpieliskami i lecznictwem bazującym na wodach geotermalnych. Przykładem może być Liptowski Jan, w którym funkcjonuje kompleks basenów i kryta pływalnia wykorzystujące źródło o temperaturze 28°C do leczenia schorzeń skórnych i chorób kobiecych [5].

Kąpieliska i balneologia to najczęstsze sposoby wykorzystania ciepłej wody geotermalnej na Słowacji. Pozostałe to ogrzewanie pomieszczeń i szklarni, hodowla ryb i innych zwierząt, pompy ciepła [2].

### 2.23. Tajlandia

W Tajlandii pracuje niewielka elektrownia binarna o mocy 300 kW<sub>e</sub>, zapewniająca prąd elektryczny dla wioski Fang. Gorąca woda geotermalna o temperaturze 116°C jest wykorzystywana kaskadowo: produkcja prądu, suszenie, ogrzewanie [3].

### 2.24. Turcja

Turcja posiada bardzo duże zasoby geotermalne. Najstarsze ślady korzystania przez ludzi z wód geotermalnych na terenie dzisiejszej Turcji pochodzą sprzed 12 tysięcy lat. Obecnie, w Turcji znanych jest ponad 1000 naturalnych źródeł geotermalnych, działa około 200 uzdrowisk „geotermalnych”. Wiele miejscowości stosuje kaskadowy sposób wykorzystania wody geotermalnej, zarówno do ogrzewania, jak i do napełniania basenów i zabiegów balneologicznych. Liczne tureckie miasta posiadają publiczne łaźnie, które wykorzystują zarówno naturalne źródła jak i sztuczne odwierty do pozyskiwania ciepłej wody. Największą i najbardziej znaną turecką miejscowością uzdrowską jest Izmir Balcova, gdzie oprócz łaźni i pływalni funkcjonuje duże centrum lecznicze [5].

Pierwsze badania nad uruchomieniem elektrowni geotermalnej w Turcji rozpoczęto w 1968 r. na złożu geotermalnym Kizildere. W 1974 r. zbudowano pilotażową elektrownię geotermalną o mocy 0,5 MW<sub>e</sub>, zaś w 1984 r. z inicjatywy Turkish Electricity Authority powstał Zakład Geotermalny w Kizildere o mocy 20,4 MW<sub>e</sub>. W zakładzie tym prowadzi się dodatkowo skojarzoną produkcję ciekłego dwutlenku węgla i suchego lodu (łącznie 120000 Mg rocznie) [24].

## 2.25. USA

W czasach przedkolumbijskich w wielu rejonach Ameryki gorące źródła i inne zjawiska geotermalne otaczane były kultem jako miejsca święte i siedliska duchów. W historii Indian amerykańskich ich związki ze zjawiskami geotermalnymi zaznaczyły się od Alaski poprzez Meksyk aż po Boliwię, Peru i Chile [5, 25]. Z rejonem Gejzerów związane są początki turystyki zorganizowanej w USA. Wśród odwiedzających był m.in. Ulysses J. Grant, który w 1872 r. powołał pierwszy na świecie park narodowy Yellowstone, mający na celu ochronę tego obszaru słynącego ze zjawisk geotermalnych [5].

USA są zdecydowanym liderem światowym pod względem produkcji energii elektrycznej ze źródeł geotermalnych, w wielu ośrodkach naukowych prowadzone są badania nad efektywniejszym i tańszym wykorzystaniem energii geotermalnej. Elektrownie geotermalne pracują na Alasce, w Kalifornii, Nowadzie, Utah i na Hawajach [3].

Najwięcej elektrowni geotermalnych zlokalizowanych jest w Kalifornii i Nowadzie (tabela 10 i 11). W najbliższym czasie planowana jest budowa kolejnych elektrowni geotermalnych [3].

Tabela 10. Produkcja energii elektrycznej z geotermii w Kalifornii, USA [3]

Położenie	Moc [MW <sub>e</sub> ]	Liczba jednostek	Produkcja energii [GW <sub>e</sub> h/rok]
The Geysers	1421	23	7784
Salton Sea	336	13	3146
Coso	274	9	2785
East Mesa	109	71	859
Heber	85	13	641
Casa Diablo	40	4	315
Inne	4	5	26
łącznie	2269	138	15556

Tabela 11. Produkcja energii elektrycznej z geotermii w Nowadzie, USA [3]

Położenie	Moc [MW <sub>e</sub> ]	Liczba jednostek	Produkcja energii [GW <sub>e</sub> h/rok]
Dixie Valley	63	1	489
Steamboat Springs	58	13	488
Soda Lake	26	9	206
Brady Hot Springs	21	3	181
Stillwater	21	14	166
Beowawe	16	1	131
Steamboat Hills	15	1	120
Desert Peak	12	2	107
Empire	5	4	38
Wabuska	2	2	17
Total	239	50	1943

W Utah w miejscowości Roosevelt Hot Spring pracuje elektrownia o mocy 26 MW<sub>e</sub>, na Hawajach 20 małych elektrowni o łącznej mocy 30 MW<sub>e</sub>, zaś na Alasce w Chena Hot Springs elektrownia o mocy 400 kW<sub>e</sub> [3].

### *Chena Hot Springs*

Miejscowość Chena Hot Springs na Alasce nie jest podłączona do sieci energetycznej, stąd mieszkańcy zmuszeni są do korzystania z własnego, lokalnego systemu zasilania. Do 2006 r. wykorzystywano zespół prądnicowy z silnikiem wysokoprężnym (30 centów/kWh), obecnie zaś, geotermalną elektrownię binarną (7 centów/kWh). Instalacja wykorzystuje wodę geotermalną z 1 km o temperaturze 74°C. Warto zauważyć, że jest to najniższa temperatura wody geotermalnej wykorzystywana do produkcji prądu elektrycznego na świecie. Czynnikiem roboczym wykorzystywanym w obiegu organicznym Rankin'a jest R-134a (tetrafluoroetan), który charakteryzuje się znacznie niższą temperaturą wrzenia niż woda. Uzyskiwana moc 400 kW<sub>e</sub> ma być zwiększona do 1000 kW<sub>e</sub> [26, 27].

### 2.26. Węgry

Węgry posiadają bogate zasoby energii geotermalnej związane z Basenem Panońskim. Tradycje wykorzystania wód geotermalnych sięgają czasów rzymskich, kiedy to Rzymianie w pobliżu gorących źródeł budowali łaźnie i kąpieliska. Węgrzy uczynili ze swoich kąpielisk i uzdrowisk strategiczny

produkt turystyczny, który jest ich „znakiem rozpoznawczym” na arenie międzynarodowej [5, 28].

W stolicy kraju – Budapeszcie rzymianie wybudowali system akweduktów doprowadzających wodę geotermalną do miasta oraz termy i łaźnie. Okres panowania tureckiego to rozbudowa łaźni typu „ilidse”, czyli bardzo obszernych, mogących codziennie przyjąć tysiące osób. Obecnie, mieszkańcy Budapesztu i licznie przybywający turyści korzystają ze 128 źródeł i ujęć geotermalnych, przy czym większość znajduje się po prawej stronie Dunaju, w Budzie. Wolski [28] podzielił geotermalne zakłady kąpielowe Budapesztu na:

- kąpieliska lecznicze,
- baseny rekreacyjne kąpielowe całoroczne (otwarte i kryte),
- baseny rekreacyjne kąpielowe sezonowe.

W Debreczynie wykorzystuje się wodę o temperaturze 60°C z otworów o głębokości 1 km, zarówno do celów grzewczych jak i leczniczych. W skład infrastruktury turystycznej wchodzi park termalny o powierzchni 74000 m<sup>2</sup> z plażą, basenami: sportowym, leczniczym, dziecięcym i rekreacyjnym ze sztucznymi falami i zjeżdżalniami. Niedaleko Debreczyna znajduje się Hajdúszoboszló, jedno z najbardziej znanych uzdrowisk na świecie, zwane „Mekką chorych na reumatyzm”. Można tu skorzystać z 40 rodzajów usług leczniczych bazujących na wodach geotermalnych i zawartym w nich cieple [5]. Wody geotermalne w Hajdúszoboszló mają 73°C, są bogate w cenne minerały (tabela 12), wokół kąpielisk panuje, podobnie jak w Ciechocinku, swoisty mikroklimat, powietrze jest nasycone jodem i chlorkiem sodu.

Tabela 12. Przykładowy skład chemiczny wód geotermalnych Hajdúszoboszló [5]

Kation	Zawartość [mg/dm <sup>3</sup> ]	Anion	Zawartość [mg/dm <sup>3</sup> ]
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	1579,87	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4,60
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	12,00	Cl <sup>-</sup>	1468,6
Ca <sup>2+</sup>	11,90	Br <sup>-</sup>	20,0
Mg <sup>2+</sup>	4,70	I <sup>-</sup>	15,0
		F <sup>-</sup>	2,0
pH	8,1	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18,0
Radoczynność [nCi/dm <sup>3</sup> ]	1,40	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1488,4

## 2.27. Włochy

Dzisiejsze Włochy posiadają ogromny potencjał wód i par geotermalnych, co wiąże się z ich położeniem geotektonicznym. Kraj ten jest współcześnie

znany z wielorakiego wykorzystania energii geotermalnej, jednak postrzegany przede wszystkim poprzez termy, traktowane jako rytuał, sztuka odpoczynku i życia towarzyskiego [5, 29].

Historia i kultura Cesarstwa Rzymskiego wiąże się nierozdzielnie z gorącą wodą geotermalną, którą powszechnie wykorzystywano w łaźniach i pomieszczeniach kąpielowych. O skali wykorzystania gorących wód świadczy fakt, że w antycznym Rzymie funkcjonowało ponad tysiąc term. Obok gorących źródeł powstawały całe kompleksy sportowo-wypoczynkowo-baleontologiczne, gdzie obok łaźni i term – budowano boiska, miejsca spacerowe, biblioteki. Rzymianie budowali także obozy wojskowe dla rannych i powracających do zdrowia żołnierzy, gdzie głównymi metodami leczenia były kąpiele w wodach geotermalnych i masaże [5].

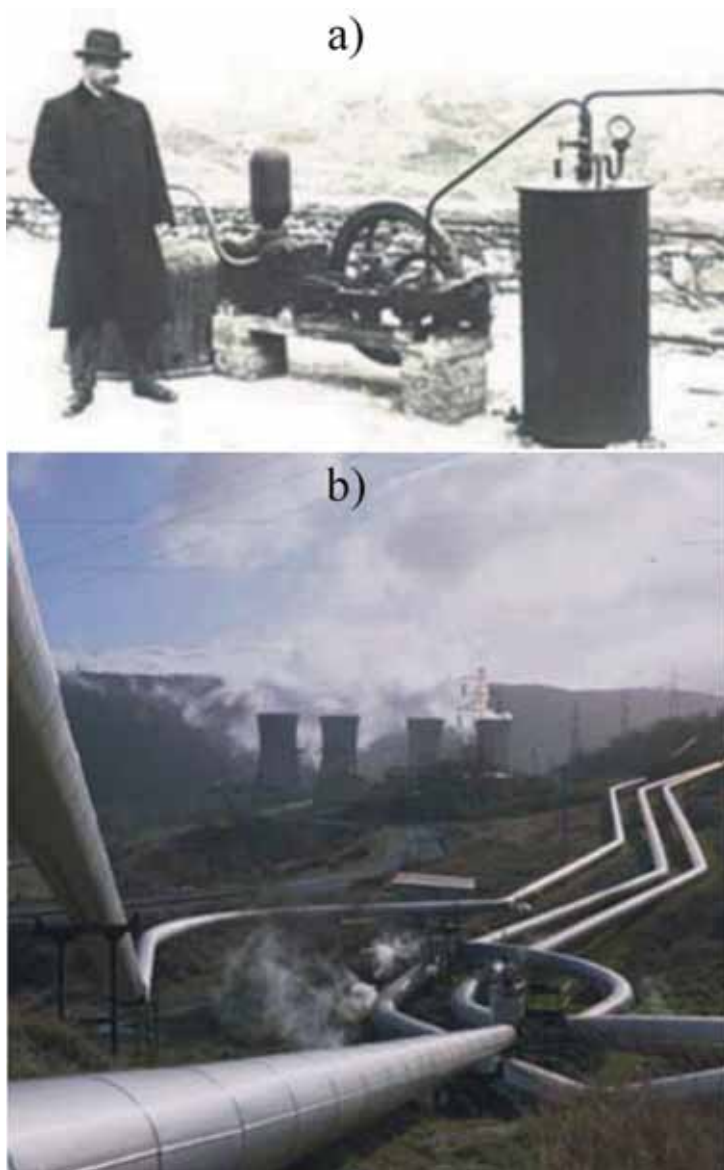
Na obszarze dzisiejszych Włoch istnieje bardzo dużo ośrodków miejskich ukształtowanych już w czasach antycznych, które przez wieki rozwijały swe funkcje turystyczno-uzdrowiskowe. Tak jest na przykład w okręgu Bolonia, gdzie istnieje trasa wzdłuż której znajdują się miasta (Parma, Modena, Rawenna, Cesena, Rimini, Riccione) wykorzystujące od wieków gorące wody geotermalne. We Włoszech w powszechnym użyciu jest określenie „medycyna termalna”, która rozwija się dzięki empirycznym metodom leczenia, praktykom lekarskim i baleontologii geotermalnej [2, 5].

Włochy są kolebką wykorzystania wody geotermalnej do produkcji energii elektrycznej (Lardello).

### *Lardello*

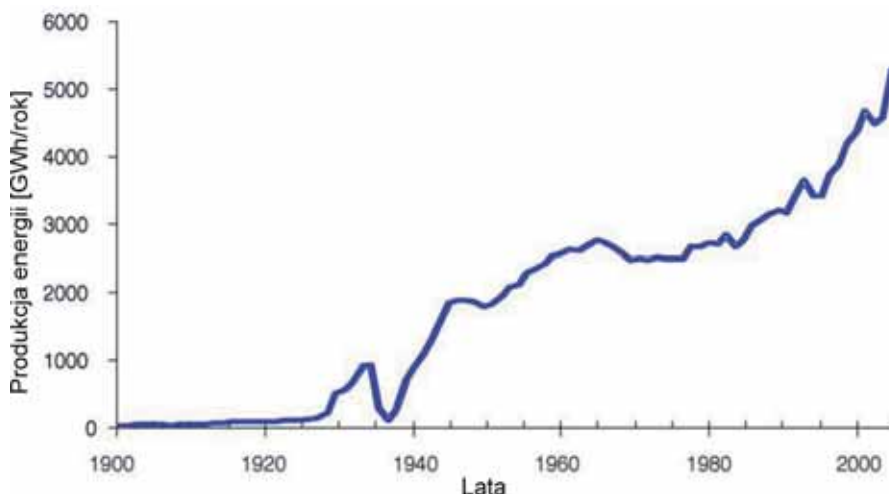
Przemysłowe wykorzystanie wody geotermalnej w Lardello datuje się na 1800 r. – wykorzystywano ją do produkcji soli boru i podgrzewania solanki. Właśnie w Lardello, 4 lipca 1904 r. wyprodukowano po raz pierwszy na świecie energię elektryczną. Skala była niewielka, gdyż silnik parowy napędzany cieczą geotermalną zespółono z dynamem, uzyskany zaś prąd wykorzystywano do oświetlenia (pięć żarówek) zakładu chemicznego produkującego bor, ale pierwszy ważny krok został zrobiony. W 1905 r. zastosowano tłokowy silnik Caila zasilany przez czystą parę uzyskaną w separatorze, sprzężony z dynamem o mocy 20 kW<sub>e</sub>. Pozwoliło to oświetlić rezydencję De Lardello oraz niektóre budynki publiczne w Lardello. W 1908 r. zbudowano drugą, prototypową elektrownię. Zastosowano silnik tłokowy Neville'a, zasilany znowu przez czystą parę uzyskaną w separatorze, także sprzężony z dynamem o mocy 20 kW<sub>e</sub>. Dzięki temu zelektryfikowano kilka zakładów chemicznych w Lardello i okolicy [30]. W 1913 r. zainstalowano pierwszą jednostkę geotermalną o mocy 250 kW<sub>e</sub>. Elektrownia ta dorównywała mocą ówczesnym elektrowniom wodnym czy węglowym i zaopatrywała w energię elektryczną najpierw zakłady chemiczne i najludniejsze ośrodki regionu Lardello, a następnie

miasta Pomarance, Saline di Woltera i Woltera. W latach sześćdziesiątych XX wieku osiągnięto 300 MW<sub>e</sub> mocy [31].



Rys. 5. Elektrownia geotermalna w Lardello: a) na początku XX, b) na początku XXI wieku [32]

Od 1904 r. produkcja energii elektrycznej we Włoszech, oprócz czasu Wielkiego Kryzysu, sukcesywnie wzrasta (rysunek 6). Obecnie, elektryczność z energii geotermalnej pozyskuje się w trzech okręgach (tabela 13) [3]. W najbliższym czasie planuje budowę kolejnych elektrowni geotermalnych we Włoszech, co pociągnie za sobą wzrost mocy o kolejne 100 MW<sub>e</sub>.



Rys. 6. Produkcja prądu elektrycznego z energii geotermalnej we Włoszech, w latach 1904–2005 [33]

Tabela 13. Produkcja energii elektrycznej z energii geotermalnej we Włoszech [3]

Położenie	Moc [MW <sub>e</sub> ]	Liczba jednostek	Produkcja energii [GWh/rok]
Lardello	543	21	3606
Trale-Radicondoli	160	6	1109
Mt. Amiata	88	5	635
Sumarycznie	791	32	5340

### 3. Podsumowanie

Większość światowych zasobów wód geotermalnych posiada temperaturę nieprzekraczającą 100°C, co jednoznacznie określa możliwości ich

wykorzystania. Zdarza się jednak, że lokalne potrzeby ciepłe odbiorców oraz względy natury technicznej i ekonomicznej preferują celowe pozyskiwanie wód geotermalnych o niższej temperaturze, od możliwej technicznie do uzyskania. Taki wariant pozyskania energii geotermalnej praktykowany jest w przypadku mniejszych potrzeb odbiorców ciepła, niż możliwości produkcyjne ujęcia geotermalnego oraz braku perspektyw zagospodarowania nadwyżek produkowanego ciepła geotermalnego [2, 3, 34]. Rozwiązanie takie pozwala znacznie zwiększyć efektywność procesu pozyskiwania energii geotermalnej oraz obniża nakłady inwestycyjne na budowę ujęcia geotermalnego, ponieważ odpada konieczność prowadzenia głębokich a zarazem kosztownych wierceń. W efekcie, uzyskuje się znacznie niższe koszty jednostkowe produkcji energii cieplnej. Zasoby energii cieplnej pochodzenia geotermalnego teoretycznie możliwe do wykorzystania do celów ciepłowniczych są ogromne i szacowane na około  $3 \times 10^6$  EJ, co przekracza ponad 9000 razy wielkość rocznej konsumpcji energii na świecie [2, 3, 34].

Stabilny rozwój światowej geotermii zapowiada jej świetlaną przyszłość oraz wysokie i stabilne miejsce w ogólnym bilansie energetycznym świata. Coraz więcej inwestorów przekonuje się, iż warto rozwijać technologie geoenergetyczne, gdyż jest to tania, przyjazna środowisku oraz niezależna od importu paliw kopalnych energia wnętrza Ziemi.

#### 4. Literatura

1. <http://www.geothermal-energy.org> (wejście 29.09.10).
2. J.W. Lund, D.H. Freeston, T.L. Boyd, *Direct application of geothermal energy: 2005 Worldwide review*, Geothermics 34, 691–727, 2005.
3. R. Bertani, *World geothermal power generation in the period 2001–2005*, Geothermics 34, 651–690, 2005.
4. V. Svalova, *Zasoby geotermalne Rosji i środowisko naturalne*, 339–345, Międzynarodowe Dni Geotermalne POLSKA 2004, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2004.
5. B. Kępińska, A. Łowczowska, *Wody geotermalne w lecznictwie, rekreacji i turystyce*, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2002.
6. M. Kaczmarczyk, *Przegląd instalacji binarnych na świecie wykorzystujących wody geotermalne o temperaturze poniżej 150°C*, Technika Poszukiwań Geologicznych 48(2), 49–62, 2009.
7. H. Legmann, *The Bad Blumau geothermal project: a low temperature, sustainable and environmentally benign power plant*, Geothermics 32 (4-6), 497–503, 2003.
8. <http://www.bl-a.com/ECB/PDFFiles/China1996.PDF> (wejście 29.09.10).
9. E.M.L. Lobato, J. Palma, A.R.R. Manzo, *Past, present and future development of geothermal energy in Guatemala*, GRC Bulletin, 117–121, may/june 2003.
10. D. Chandrasekharam, *Geothermal energy resources of India: Country Update Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 133–145, Kyushu-Tohoku, Japan, 2000.

11. <http://apps.starenergy.co.id> (wejście 01.10.10).
12. E. Gunnlaugsson, *Ogrzewanie geotermalne w Reykjaviku, Islandia*, 171–179, Międzynarodowe Dni Geotermalne POLSKA 2004, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2004.
13. <http://www.mojeopinie.pl> (wejście 15.10.10).
14. <http://www.mannvit.com> (wejście 22.10.10).
15. <http://www.or.is> (wejście 22.10.10).
16. I.B. Fridleifsson, *Geothermal energy for the benefit of the people*, *Renewable&Sustainable Energy Reviews* 5(3), 299–312, 2001.
17. M. Sekioka, *Geothermal energy in history. The case of Japan: Our common heritage*, Proceedings of the World Geothermal Congress Florence 395–399, Florence, Italy 1995.
18. <http://thinkgeoenergy.com> (wejście 21.10.10).
19. <http://en.wikipedia.org> (wejście 22.10.10).
20. <http://www.powereng.com> (wejście 22.10.10).
21. C.M. Severne, *Traditional use of geothermal resources by New Zealand Maori*, Proceedings of the World Geothermal Congress 1995, 401–404, Florence, Italy 1995.
22. [http://www.nzgeothermal.org.nz/elec\\_geo.html](http://www.nzgeothermal.org.nz/elec_geo.html) (wejście 26.10.10).
23. M. Rosca, M. Antics, *Energia geotermalna w Rumunii – rozwój wykorzystania w latach 2000–2004*, 327–337, Międzynarodowe Dni Geotermalne POLSKA 2004, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2004.
24. S. Simsek, *Zasoby geotermalne i doświadczenia z ich wykorzystania w Turcji*, 361–366, Międzynarodowe Dni Geotermalne POLSKA 2004, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2004.
25. G.R. Calderon, *Andean cultures and geothermal phenomena in historical chronicles, Stories from heated Earth. Our geothermal heritage*, GRC, IGA, Sacramento, Kalifornia 1999.
26. R. Bertani, *World Geothermal Generation in 2007*, Proceedings of the Geothermal Congress, Unterhaching, Germany 2007.
27. <http://www.gizmag.com> (wejście 06.10.10).
28. J. Wolski, *Budapeszt miasto-uzdrowisko. Nowatorskie rozwiązanie – sanatoriumienne*, *Problemy Uzdrowiskowe* 1–2, Warszawa 1988.
29. R. Cataldi, P.D. Burgassi, *Decline on the bathing and other uses of natura heat in the Mediterranean Area. From the birth of Rome to the end of the 1st Millenium*, in R. Cataldi et al. [eds.], *Stories from a heated Earth. Our geothermal heritage*, GRC, IGA, Sacramento, California 1999.
30. R. Cataldi, *Stulecie przemysłu geotermalno-elektrycznego oraz program ochodów jubileuszu we Włoszech*, 25–27, Międzynarodowe Dni Geotermalne POLSKA 2004, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2004.
31. G. Cappetti, *Technologie i strategie zrównoważonego wykorzystania energii geotermalnej – przykład Lardello*, 143–150, Międzynarodowe Dni Geotermalne POLSKA 2004, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2004.
32. <http://www.reuk.co.uk> (wejście 07.10.10).
33. G. Capetti, L. Ceppatelli, *Geothermal power generation we Włoszech: 2000-2004 update report*, Prc. WGC 2005.
34. <http://www.pga.org.pl> (wejście 27.10.10).

# POMPY I WYMIENNIKI CIEPŁA

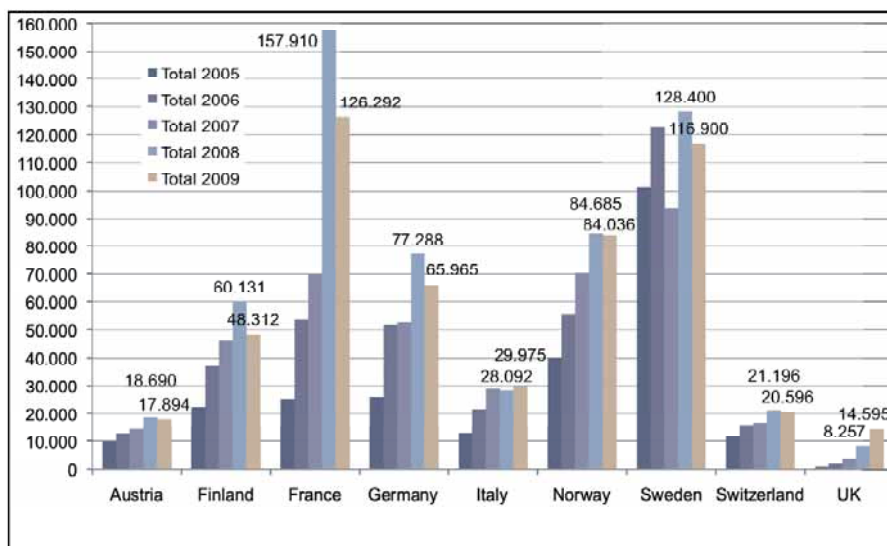
## 1. Historia stosowania pomp ciepła

Zasada działania pompy ciepła ma prawie 200-letnią historię, gdyż już w 1824 roku jako pierwszy opublikował ją Francuz Carnot. Dziesięć lat później, Amerykanin Jacob Perkins skonstruował pierwszą chłodziarkę sprężarkową z eterem dietylowym jako czynnikiem roboczym. W 1852 roku szczegółowe podstawy teoretyczne pomp ciepła przedstawił lord Kelvin, który udowodnił, że maszyny chłodnicze mogą być wykorzystywane także do ogrzewania. Ponadto, wykazał on, że do ogrzewania przy pomocy pompy ciepła potrzeba mniej energii pierwotnej niż do bezpośredniego ogrzewania, ponieważ ciepło pobierane jest częściowo z otoczenia (powietrze, woda lub grunt), co przynosi zysk energetyczny [1, 2].

W 1855 roku lord Kelvin założył i eksploatował wybudowaną według projektu Petera Rittera von Rittingera warzelnię soli w Ebensee w Austrii – ekonomiczną parownię działającą na zasadzie podobnej do działania lodówki. Owa „pompa parowa” umożliwiała odparowywanie solanki w celu odzysku energii i oszczędności paliwa. W wyniku mechanicznego sprężania pompa podwyższała temperaturę oparów solanki, a dodatkowo pozyskiwane w ten sposób ciepło wykorzystywane było do ponownego ogrzania solanki. Lata 1860–1870 to okres intensywnych prac nad chłodziarkami sprężarkowymi i absorpcyjnymi. Pierwotnie chłodziarki służyły do produkcji lodu. Dopiero później wykorzystano je także do bezpośredniego chłodzenia. Znajdowały one zastosowanie przede wszystkim w warzelniach piwa oraz w przemyśle spożywczym. Okres triumfu lodówek przypada na lata po I wojnie światowej. Największą popularnością cieszyły się one w Stanach Zjednoczonych, których nie dotknęły zniszczenia wojenne [1, 2].

Na skalę przemysłową zastosowano pompę ciepła w 1914 roku w Szwajcarii. Wykorzystano ją z zakładu farbiarskim do zateżniania ługu sodowego. W 1928 r. Haldane zbudował instalację z pompą ciepła do ogrzewania domu.

W 1931 roku zainstalowano pompę ciepła o mocy 1,05 MW do ogrzewania biurowca w Los Angeles. W 1938 r. pompą ciepła o mocy 175 kW ogrzewany był już ratusz w Zurychu, a trzy lata później pompą o mocy 7 MW wszystkie obiekty tamtejszej politechniki [2, 3]. W połowie lat osiemdziesiątych w USA aż 30% nowo budowanych domów wyposażono w pompy ciepła. Urządzenia te stały się popularne w Japonii, Francji, Szwecji, Niemczech. Spadek cen ropy naftowej spowodował gwałtowny rozwój pomp ciepła, ale jednocześnie wpłynął na udoskonalenie ich konstrukcji i sprawności. W Lund (Szwecja) uruchomiona w 1983 roku pompa o mocy 13 MW dostarcza ciepło do miejskiej sieci ciepłowniczej, pozwalając zaoszczędzić rocznie około 8 800 m<sup>3</sup> oleju opałowego. Uruchomiona w tym samym roku w Malmö pompa o mocy 40 MW wykorzystuje ciepło w zakładzie oczyszczania ścieków, dostarczając rocznie ponad 310 tys MWh energii cieplnej do sieci miejskiej. Sto tysięcy mieszkań w Sztokholmie ogrzewa pompa ciepła o mocy 100 MW, czerpiąca energię z wód Bałtyku. Znowu oznacza to oszczędność 50–60 tys. m<sup>3</sup> ropy rocznie i zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska [1, 2, 3, 4].



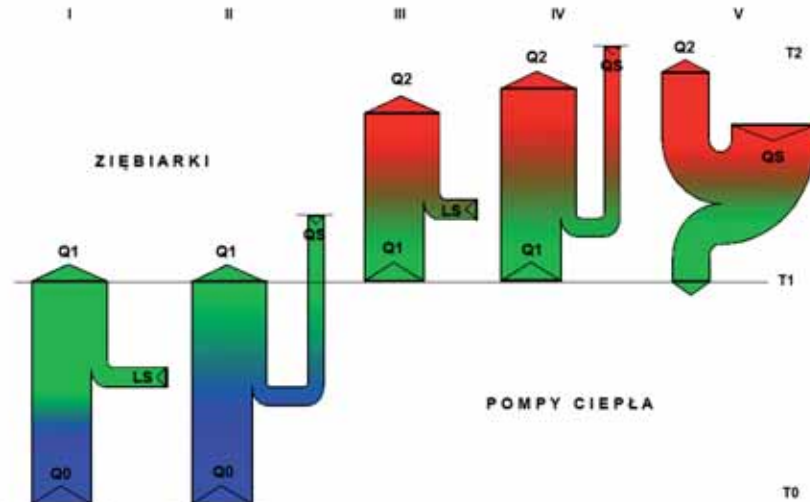
Rys. 1. Sprzedaż pomp ciepła w wybranych krajach w latach 2005–2009 [5]

Według Europejskiego Stowarzyszenia Pomp Ciepła EHPA (ang. *European Heat Pump Association*) w Europie występują dwa w pełni dojrzałe rynki sprzedaży pomp ciepła: szwedzki i szwajcarski. W 2007 r. w Szwecji ponad 95%, w Szwajcarii 73% nowo wybudowanych domów wyposażono w pompy

ciepła (dla porównania w Polsce około 1–2%). W roku 2007 w Szwajcarii sprzedano około 17 tys. pomp ciepła, o 3 tys. więcej niż kotłów gazowych. Ciekawe jest to, że proporcje sprzedaży typów pomp ciepła utrzymują się niezmiennie od 5 lat i wyglądają następująco: pompy ciepła powietrze-woda stanowią około 55% udziału sprzedaży, grunt-woda 42%, woda-woda jedynie 2% [4, 5].

## 2. Podział i zasada działania pomp ciepła

Pompa ciepła, mimo że prawie każdy posiada ją w domu – lodówka, należy nadal do mało znanych sposobów ogrzewania. Różnica pomiędzy lodówką a pompą do ogrzewania polega jedynie na tym, że celem pracy lodówki jest obniżenie temperatury źródła dolnego (np. z  $+20^{\circ}\text{C}$  do  $-4^{\circ}\text{C}$ ), a „przy okazji” wzrost temperatury źródła górnego, czyli powietrza w kuchni; w pompie ciepła głównym celem jest ogrzanie domu (wzrost temperatury górnego źródła) [2, 6].



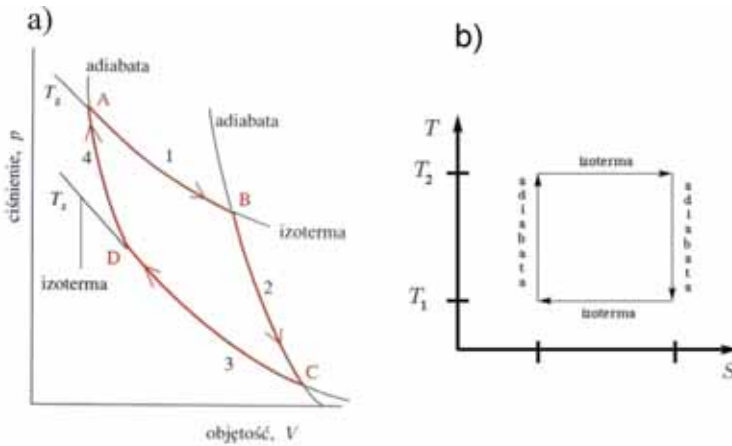
Rys. 2. Schemat funkcjonalny, lewobrzeżnych maszyn ciepłych

Pompą ciepła nazywa się maszynę cieplną, w której ciepło jest pobierane ze źródła o temperaturze  $T_1$  i przekazywane do ciała o temperaturze  $T_2$ , przy czym  $T_2 > T_1$ . Proces opisany powyżej nie może w przyrodzie zachodzić

samorzutnie (rysunek 2). Możliwy jest wówczas, gdy do układu, w którym jest realizowany dostarczona zostanie energia [7, 8].

W rozważaniach dotyczących procesów zachodzących w silnikach ciepłych pojawia się pojęcie cyklu i termostatów. Cyklem nazywamy proces termodynamiczny, w którym stan końcowy układu pokrywa się ze stanem początkowym [7, 8].

Chcąc termodynamicznie opisać zasadę działania pompy ciepła należy rozważyć cykl Carnota (rysunek 3).



Rys. 3. Prosty cykl Carnota w układzie współrzędnych a) ( $p, V$ ) i b)  $T, S$  [7]

Czynnikiem roboczym w silniku Carnota jest gaz idealny w zamkniętym naczyniu. Pełen cykl pracy silnika składa się z czterech przemian [8]:

1) odwracalnej przemiany izotermicznej  $A \rightarrow B$  w temperaturze  $T_2$ ;

Gaz rozpręża się izotermicznie od stanu  $p_A, T_2, V_A$  do  $p_B, T_2, V_B$ . Wielkość pracy wykonana w tej przemianie wynosi:

$$W_{A \rightarrow B} = nRT \ln \frac{V_B}{V_A} = nRT \ln \frac{p_A}{p_B} > 0$$

Ciepło, które zostaje wymienione z otoczeniem, określone na podstawie pierwszej zasady termodynamiki:

$$Q_{A \rightarrow B} = W_{A \rightarrow B} = nRT \ln \frac{V_B}{V_A} > 0$$

2) odwracalnej przemiany adiabatycznej B→C;

Gaz rozpręża się w procesie adiabatycznym od  $p_B, V_B, T_2$  do stanu  $p_C, V_C, T_1$ . Zmiana energii wewnętrznej podczas tej przemiany wynosi:

$$\Delta U_{B \rightarrow C} = nC_V(T_1 - T_2) < 0$$

Ciepło wymienione z otoczeniem  $Q_{B \rightarrow C} = 0, Q_{B \rightarrow C} = 0$ , a wielkość pracy wykonanej podczas tej przemiany:

$$W_{B \rightarrow C} = -\Delta U_{B \rightarrow C} = nC_V(T_2 - T_1) > 0$$

w tym przypadku układ wykonał pracę nad otoczeniem.

3) odwracalnej przemiany izotermicznej C→D w temperaturze  $T_1$ ;

Gaz zostaje sprężony izotermicznie od stanu  $p_C, V_C, T_B$  do  $p_D, V_D, T_B$ . Wielkość pracy w trakcie tej przemiany wynosi:

$$W_{C \rightarrow D} = Q_{C \rightarrow D} = nRT \ln \frac{V_D}{V_C} < 0$$

i wykonana jest nad układem oraz równa jest ciepłu wymienionemu z otoczeniem.

4) odwracalnej przemiany adiabatycznej D→A kończącej cykl.

Gaz zostaje sprężony adiabatycznie od  $p_D, V_D, T_B$  do stanu  $p_A, V_A, T_A$ . Zmianę energii wewnętrznej w trakcie tej przemiany, równej pracy wykonanej nad silnikiem cieplnym ze znakiem minus, gdy ciepło dostarczone z otoczenia wynosi zero, można zapisać:

$$\Delta U_{D \rightarrow A} = -W_{D \rightarrow A} = nC_V(T_2 - T_1) > 0$$

Znając wyrażenia na wielkość pracy i zmianę energii wewnętrznej w poszczególnych przemianach cyklu można wyprowadzić wzór na sprawność silnika Carnota [8]:

$$\eta = \frac{\text{praca wykonana przez układ}}{\text{ciepło pobrane przez układ}} = \frac{|Q_{\text{pobrane}}| - |Q_{\text{oddane}}|}{|Q_{\text{pobrane}}|}$$

Całkowita praca wykonana przez układ w cyklu Carnota jest równa:

$$W = nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A} + nRT_1 \ln \frac{V_D}{V_C}$$

a ciepło pobrane przez układ:

$$Q_{pobrane} = nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A}$$

wobec tego sprawność silnika Carnota można zapisać jako:

$$\eta = \frac{nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A} + nRT_1 \ln \frac{V_D}{V_C}}{nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A}} = 1 + \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{\ln \frac{V_D}{V_C}}{\ln \frac{V_B}{V_A}}$$

Przemiany B→C i D→A w układzie współrzędnych (V, T) przyjmują postać:

$$T_2 \cdot V_B^{\kappa-1} = T_1 \cdot V_C^{\kappa-1}$$

$$T_1 \cdot V_D^{\kappa-1} = T_2 \cdot V_A^{\kappa-1}$$

wynika stąd, że:

$$\left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{\kappa-1} = \left(\frac{V_C}{V_D}\right)^{\kappa-1}$$

wobec tego:

$$\frac{V_B}{V_A} = \frac{V_C}{V_D}$$

i ostatecznie można zapisać:

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} < 1$$

Omówiony powyżej cykl silników cieplnych Carnota jest dobrym modelem rzeczywistych silników cieplnych, a jego sprawność jest wyższa niż silników rzeczywistych.

Cykl termodynamiczny, którego bieg w układzie współrzędnych jest zgodny z ruchem wskazówek zegara nazywa się prawobrzeżnym, cykl odwrotny (wsteczny) – cyklem lewobrzeżnym [8].

Pompa ciepła, która pracuje w lewobrzeżnym cyklu Carnota wykonuje przemiany w kolejności: A→D→C→B→A. Cykl lewobrzeżny wykonuje idealna pompa ciepła, która pobiera ciepło ze źródła ciepła  $T_1$ , lub  $T_0$  w ilości  $Q_{D \rightarrow C} = -nRT_2 \ln \frac{V_D}{V_C}$   $Q_{D \rightarrow C} = -nRT_2 \ln \frac{V_D}{V_C}$  wykonuje

pracę  $W = -nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A} - nRT_1 \ln \frac{V_D}{V_C}$   $W = -nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A} - nRT_1 \ln \frac{V_D}{V_C}$   
 w związku z tym oddaje ciepło  $Q_{B \rightarrow A} = -nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A}$   $Q_{B \rightarrow A} = -nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A}$ .

Wobec powyższego sprawność idealnej pompy ciepła można zapisać:

$$\eta = \frac{Q_{D \rightarrow C}}{W} = \frac{nRT_1 \ln \frac{V_D}{V_C}}{-nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A} - nRT_2 \ln \frac{V_D}{V_C}} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

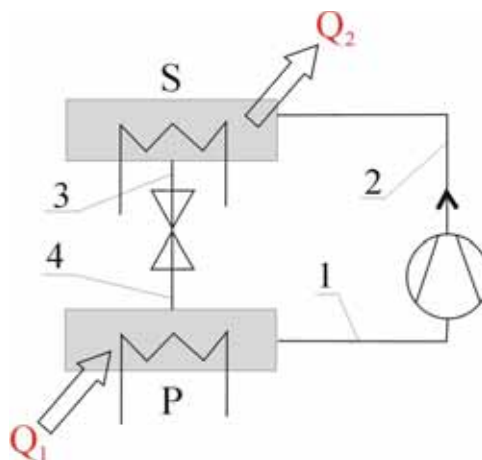
Lewandowski [2] wyróżnia następujące rodzaje pomp ciepła:

- sprężarkowa z czynnikiem jednoskładnikowym,
- sprężarkowa z czynnikiem dwuskładnikowym,
- absorpcyjna,
- absorpcyjny transformator ciepła,
- resorpcyjna napędzana energią mechaniczną,
- resorpcyjna wykorzystująca sprężanie oparów,
- sprężarkowa z obiegiem gazowym,
- sprężarkowa z otwartym obiegiem gazowym,
- chemiczny transformator ciepła,
- wykorzystująca efekt Ranque'a,
- wykorzystująca efekt elektrodyfuzji,
- termoelektryczna, oraz
- magnetyczna.

### 2.1. Sprężarkowa pompa ciepła

Pompa sprężarkowa to najpopularniejsza pompa ciepła. Zasadę działania pompy sprężarkowej z czynnikiem jednoskładnikowym przedstawiono na rysunku 4. Jednoskładnikowa para czynnika (1) spręża się (2) i wpływa do skraplacza, gdzie kondensuje przy stałym ciśnieniu i temperaturze (3). Procesowi temu towarzyszy wydzielanie wysokotemperaturowego ciepła w górnym źródle ciepła. Wypływająca z kondensatora ciecz po rozprężeniu w zaworze już jako mieszanina dwufazowa (para-ciecz) (4) wypływa do parownika, gdzie w warunkach izobaryczno-izotermicznych pobiera niskotemperaturowe ciepło z dolnego źródła i przechodzi w parę (1) [2].

Ciepło w pompie ciepła przekazywane jest za pomocą substancji chemicznych nazywanych czynnikami roboczymi lub chłodziwami, które charakteryzują się niską temperaturą wrzenia [9].



Rys. 4. Schemat sprężarkowej pompy ciepła z czynnikiem jednoskładnikowym, S – skraplacz, P – parownik,  $Q_1$  – ciepło dolnego źródła,  $Q_2$  – ciepło górnego źródła (opis w tekście)

W pompach ciepła stosuje się wiele czynników chłodniczych o różnym składzie chemicznym. Zgodnie z zaleceniami ISO czynniki te mają następujące oznaczenia:

- CFC – chlorofluorowęglowodory, węglowodory w których atomy wodoru zostały zastąpione atomami chloru i fluoru,
- HCFC – wodorochlorofluorowęglowodory, węglowodory w których część atomów wodoru została zastąpiona atomami chloru i fluoru,
- HFC – wodorofluorowęglowodory, węglowodory w których część atomów wodoru została zastąpiona atomami fluoru.

Oznaczenie powyższych czynników zostało znormalizowane (norma DIN 8962). Wówczas wielka litera „R” (*refrigerant*) oznacza czynnik chłodniczy, pierwsza cyfra od prawej liczbę atomów fluoru, druga cyfra od prawej oznacza powiększoną o 1 liczbę atomów wodoru, trzecia liczba oznacza pomniejszoną o 1 liczbę atomów węgla, litera B i cyfra oznaczają brom i liczbę jego atomów. Chlor nie jest bezpośrednio oznaczony, ale liczbę jego atomów można wyliczyć, znając długość łańcucha węglowodoru i odpowiadającą mu liczbę możliwych podstawników oraz liczbę atomów wodoru i fluoru [2].

## 2.2. Absorpcyjne pompy ciepła

W pompach absorpcyjnych kompresja czynnika odbywa się termicznie. W układzie przepływają dwa czynniki: nisko- i wysokowrzący, przykładowo

amoniak-woda [2]. Desorber jest dolnym, a absorber górnym źródłem ciepła. Pary amoniaku z desorbera przepływają do kondensatora, gdzie oddają ciepło, ulegając skropleniu (drugie górne źródło ciepła). Skroplony amoniak z kondensatora przepływa do parownika (drugie dolne źródło ciepła), gdzie pobiera ciepło, odparowuje i płynie do absorbera. W absorberze zachodzi reakcja egzotermiczna par amoniaku z wodą, w wyniku której wydzielają się ciepło. Cykl zamyka przepływ wody amoniakalnej do desorbera, w którym pobrane ciepło z dolnego źródła rozkłada wodę amoniakalną na amoniak i wodę [2].

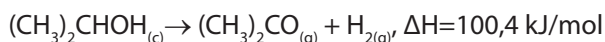
W absorpcyjnych pompach ciepła, w porównaniu do pomp sprężarkowych, stosowane są substancje bardziej przyjazne środowisku. Oprócz wspomnianego wcześniej układu: woda (rozpuszczalnik, sorbent) – amoniak (czynnik roboczy), wykorzystuje się: bromek litu-wodę, bromek litu-metanol, wodę-metanol, wodę-metyloaminę, azotan litu-amoniak, rodanek sodu-amoniak i inne.

### 2.3. Pompy ciepła wykorzystujące sprężanie oparów

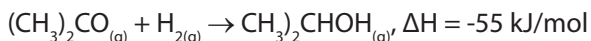
W pompie ciepła wykorzystującej sprężanie oparów dolnym źródłem jest wrzący roztwór, a górnym skraplające się opary, które jednocześnie podgrzewają wrzący roztwór. Czynnikiem roboczym są opary, najczęściej para wodna w tzw. otwartym obiegu pompy. Różnica temperatury wynosi około 10°C, stąd duży współczynnik efektywności tych pomp. Opary mogą być sprężane mechanicznie sprężarką lub wentylatorem albo termicznie silnikiem cieplnym lub strumienicą napędzaną „żywą” parą [2].

### 2.4. Chemiczne transformatory ciepła

W chemicznych transformatorych, ciepło reakcji egzotermicznych stanowi zasilanie górnego źródła ciepła i siłę napędową, wymuszającą przepływ masy czynników w transformatorze. Reakcje endotermiczne zachodzą dzięki ciepłu doprowadzanemu do dolnego źródła. Zasada działania transformatorów jest taka sama bez względu na rodzaj reakcji egzotermicznych. Przykładową reakcją może stanowić endotermiczne odwodornienie 2-propanolu (ciecz) do gazowego acetonu i wodoru przy udziale *katalizatora I* (nikiel) [2]:



a następnie egzotermiczne uwodornienie gazowego acetonu do gazowego 2-propanolu pod wpływem *katalizatora II* (nikiel osadzony na węglu aktywnym):



### 2.5. Elektrodyfuzyjne pompy ciepła

Elektrodyfuzja zachodzi w specjalnym materiale porowatym przewodzącym prąd elektryczny. Pary sodu z parnika są absorbowane przez porowatą anodę, pokrytą żaroodpornym elektrolitem. Jony sodu migrują i po rekombinacji mają wyższy potencjał elektrochemiczny (wyższe ciśnienie i temperaturę). Pary sodu kondensują w skraplaczu, następnie ciekły sól jest rozprężany i wpływa do parownika [2].

## 3. Pompy ciepła – dolne źródło ciepła

Ciepło odnawialne za pośrednictwem pompy ciepła można pozyskiwać niemal w każdym miejscu na świecie.

### 3.1. Wody powierzchniowe i wgłębne

Bardzo dobrym źródłem ciepła jest zbiornik wodny (jezioro, staw,) czy rzeka – znacząco obniża się wówczas koszty wierceń czy wykopów [10].

Woda ma dużą pojemność cieplną i jest powszechnie dostępna. Może ona cyrkulować przez parownik w układzie otwartym (odbierając ciepło ze zbiorników wodnych) lub w układzie zamkniętym – w rurach stanowiących pętle wymienników ciepła. Można również, w takich przypadkach jak układ studni eksploatacyjnej i chłonnej (rysunek 6) dostarczający wodę głębinową do parownika, wydzielić układy częściowo zamknięte (częściowo otwarte), w których zamknięcie obiegu nośnika odbywa się np. za pośrednictwem warstwy wodonośnej [11].

W układach wymienników gruntowych, z powodu zamarzania wody w 0°C, stosuje się roztwory niezamarzające. Najczęściej stosuje się roztwory glikolu etylenowego i propylenowego [10].

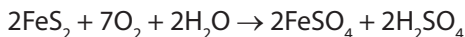


Rys. 5. Wymiennik ciepła zatopiany w jeziorze [10]

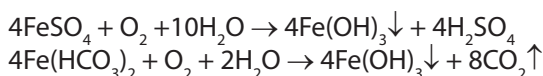


Rys. 6. Układ studni eksploatacyjnej i chłonnej [10]

Jednym z najważniejszych problemów wynikających z korzystania z wody gruntowej jest duże prawdopodobieństwo wytrącania się związków żelaza. W Polsce wody te są zasobne w związki żelaza. Łatwo rozpuszczalne związki żelaza ( $\text{Fe}^{2+}$ ) powstają w wyniku utleniania i hydrolizy siarczków żelaza w warunkach tlenowych zgodnie z poniższym równaniem reakcji [12]:



Żelazo(II) jest utleniane przez tlen atmosferyczny, co prowadzi do wytrącania się trudnorozpuszczalnych wodorotlenków żelaza(III):



### 3.2. Górotwór

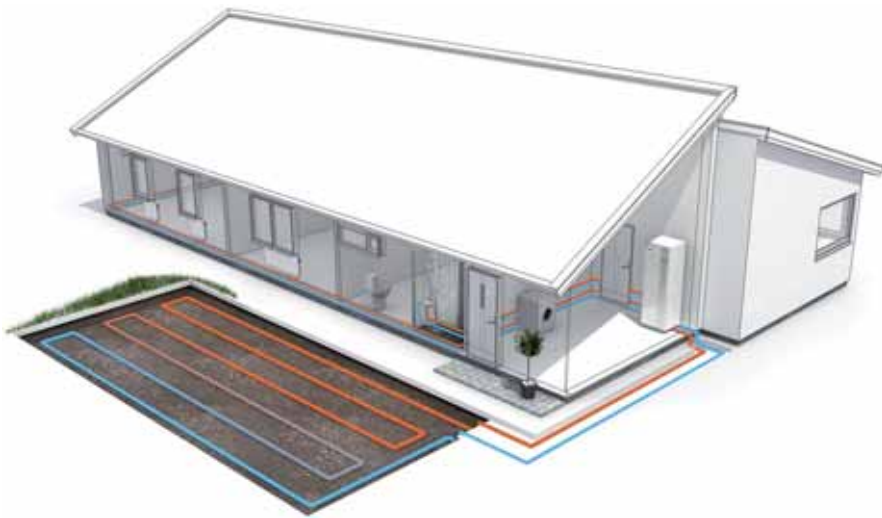
Górotwór jest dobrym kolektorem ciepła. Ciepło gruntu pochodzi z energii geotermicznej, słonecznej, może być to także ciepło antropogeniczne. Im większa głębokość, tym mniejszy udział ciepła słonecznego na korzyść energii geotermicznej. Antropogeniczny ruch ciepła do, lub z górotworu odbywa się na przykład w otoczeniu sieci kanalizacyjnych i wodociągowych, poprzez fundamenty obiektów budowlanych, w wyniku działalności górniczej (np. wentylacja wyrobisk górniczych), składowania odpadów, itd. [11].

#### 3.2.1. Poziome gruntowe wymienniki ciepła

W Polsce temperatura gruntu na głębokości 10 m jest niemal stała i wynosi około  $10^\circ\text{C}$ , jednakże koszty wykonania układu rurek w gruncie ograniczają głębokość jego położenia najczęściej maksymalnie do 2 m. Na tej głębokości występuje sezonowa zmiana temperatury i w Polsce wynosi ona w lecie  $17^\circ\text{C}$ , natomiast w zimie  $5^\circ\text{C}$  [11, 13].

W zależności od będącej w dyspozycji powierzchni działki stosuje się różne konfiguracje wymiennika poziomego. W przypadku układania w pojedynczym wykopie więcej niż jednego ciągu rury wymiennika, pionowy i poziomy odstęp pomiędzy rurami nie powinien być mniejszy niż 30 cm, a odległość optymalna wynosi 60 cm. W zależności od wilgotności gleby i jej struktury, liczba rur, które należy zakopać w ziemi, wynosi od 30 m/kW do 50 m/kW mocy grzewczej pompy ciepła. Długość wymiennika jest uzależniona od typu pompy ciepła, warunków gruntowych i powinna być każdorazowo konsultowana

z producentem pompy ciepła. Do wykonania wymiennika gruntowego należy stosować rurę PE wodociągową o średnicy od 32 do 63 mm w zależności od długości wymiennika. Rury umieszcza się od 20 do 50 cm poniżej granicy przemarzania gruntu (dla danej strefy klimatycznej na głębokości od 1,4 do 2,0 m). Rury należy także układać w podziałce min 1 m. Rury łączy się przez zgrzewanie, przy czym miejsca połączeń powinny być dostępne po zasypaniu kolektora (np. poprzez wykonanie studzienek rewizyjnych lub łączenie wewnątrz budynku). Przy krótszych wymiennikach do 200 m, rura powinna być zakopana w jednym odcinku, bez połączeń. Dłuższe wymienniki (powyżej 200 m) należy wykonywać z kilku odcinków (po ok. 200 m), połączonych równolegle, z możliwością odcinania i krzyżowania poszczególnych odcinków (należy w tym celu wykonać odpowiednie rozdzielacze: zasilający i powrotny). Końce wymiennika należy wprowadzić do pomieszczenia z pompą ciepła. Przejście przez fundament lub ścianę budynku należy wykonać poprzez rurę osłonową [13].



Rys. 7. Poziomy gruntowy wymiennik ciepła [10]

Spiralne wymienniki gruntowe są odmianą wymienników poziomych. Rury polietylenowe o średnicy 32 lub 40 mm dostarczane są zazwyczaj w kęęgach. Cechę tę wykorzystuje się przy układaniu rur wymiennika spiralnego, które układa się na głębokości ok. 20 cm poniżej strefy przemarzania (od 1,6 do 2 m) w poziomych szerokich rowach o szerokości min. 1 m i długości min. 15 m dla jednej spirali [13].



Rys. 8. Zakładanie poziomego gruntowego wymiennika ciepła [10]

### 3.2.2. Pionowe (otworowe) gruntowe wymienniki ciepła

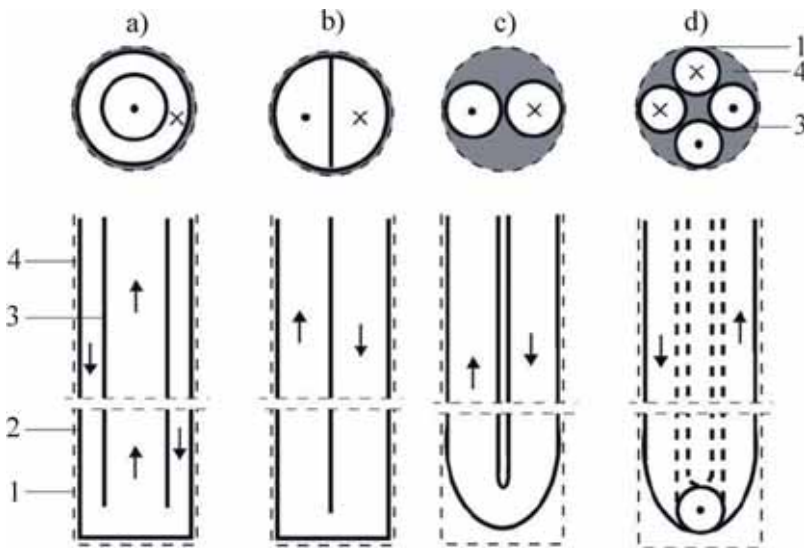
Otworowe wymienniki ciepła o znacznych głębokościach zapewniają efektywną pracę pompy ciepła dzięki wysokiej temperaturze nośnika ciepła [11].

Wymiana ciepła pomiędzy gruntem a cyrkulującym nośnikiem ciepła może być realizowana przy zastosowaniu różnych konstrukcji otworu wiertniczego i jego wyposażenia. Najprostszym rozwiązaniem jest wyposażenie otworu wiertniczego w pojedynczą u-rurkę (rysunek 10c)). Najkorzystniejszą, ale i najdroższą konstrukcją jest układ z rurą centryczną, w tym przypadku uzyskuje się wzrost powierzchni wymiany ciepła oraz zmniejszenie oporów hydraulicznych przepływu nośnika ciepła [11].

Pionowy gruntowy wymiennik ciepła wykonuje się z rur polietylenowych umieszczonych w pionowych odwiertach połączonych szeregowo lub równolegle. Do wykonania wymiennika gruntowego należy stosować rurę PE wodociągową o średnicy 32 lub 40 mm. Odcinki pionowe rury należy połączyć przez zgrzewanie kolanem 180°. W zależności od lokalnych warunków terenowych, głębokość odwiertów wynosić może od 18 do 100 m [13].



Rys. 9. Odwiert pod pionowy wymiennik gruntowy [10]

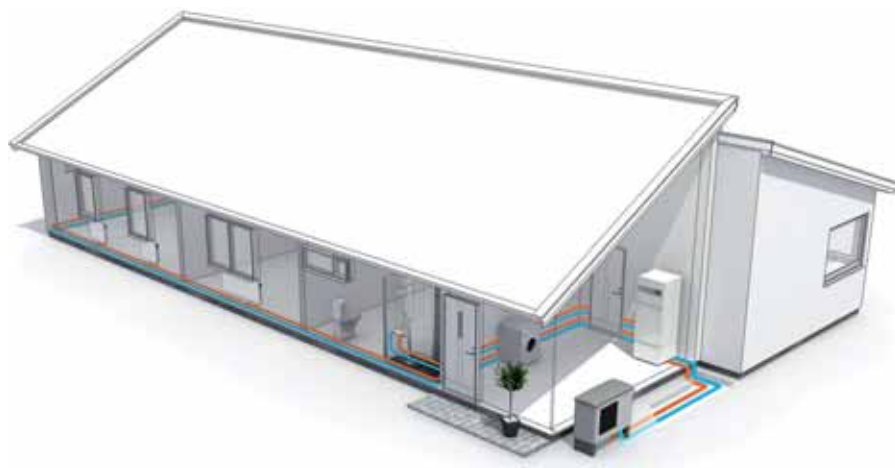


Rys. 10. Schematy konstrukcji otworowych wymienników ciepła; a – układ centryczny, b – układ połówkowy, c – układ z pojedynczą u-rurką, d – układ z podwójną u-rurką; 1 – ściana odwiertu, 2 – obudowa odwiertu, 3 – wewnętrzna rura wymiennika, 4 – uszczelniający materiał wypełniający odwiert [11]

### 3.3. Powietrze<sup>1</sup>

Ciepło z powietrza jest najłatwiejsze do wykorzystania, gdyż jest wszędzie i do tego nie wymaga skomplikowanych instalacji. Powietrze jest źródłem ciepła niskotemperaturowego w zakresie temperatury od  $-15^{\circ}\text{C}$  do  $+25^{\circ}\text{C}$ . Najczęściej stosuje się takie źródło ciepła w biwalentnych systemach grzewczych, tzn. składających się ze źródła podstawowego (pompy ciepła) i szczytowego (np. kocioł gazowy) [11].

Podstawowym problemem dotyczącym pompy ciepła: powietrze-woda jest dostarczenie odpowiedniej ilości powietrza. Umożliwia to wydajny wentylator, który powoduje jednak wzrost hałasu, dlatego też wentylator najczęściej montuje się na zewnątrz budynku (rysunek 11) bądź w wydzielonej kotłowni.



Rys. 11. Wykorzystanie powietrza jako dolnego źródła ciepła [10]

### 3.4. Ciepło odpadowe

Efektym działalności człowieka jest emisja ogromnych ilości ciepła do środowiska. Ciepło to trafia do wody (ciepło ze ścieków, woda wodociągowa), gruntu (rurociągi umieszczone w gruncie) czy powietrza. Instalacja pompy ciepła pozwala część tego ciepła odzyskać [9, 11].

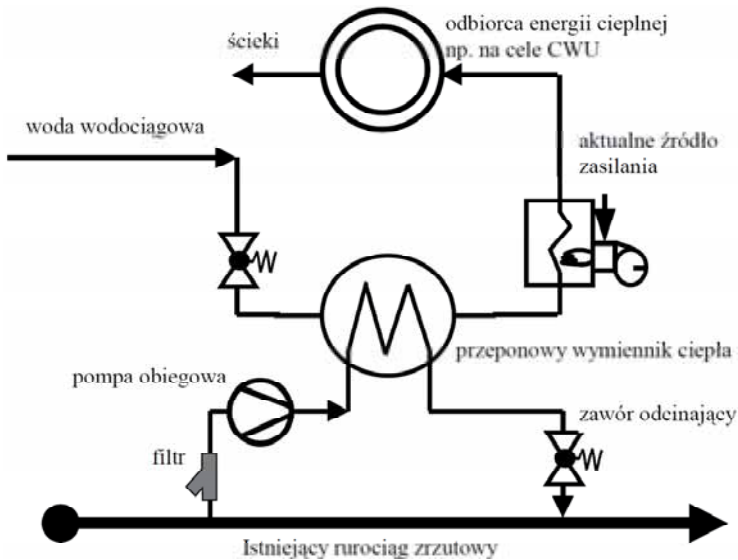
<sup>1</sup> Powietrzne pompy ciepła korzystają głównie z energii Słońca.

### 3.4.1. Ciepło z odpadów komunalnych

Na składowisku odpadów komunalnych zachodzi proces fermentacji metanowej (produkcja biogazu), jest to proces egzotermiczny. Odbiór ciepła za pośrednictwem odbiorników rurowych układanych przy montażu instalacji drenażowej składowiska z odcieków wysypiskowych, może poza pozyskaniem ciepła na cele grzewcze (pompa ciepła), w pewnym stopniu regulować produkcję biogazu [11].

### 3.4.2. Odpadowe ciepło z kopalni

Kopalnie węgla kamiennego muszą być wentylowane, temperatura na wylocie szybów wentylacyjnych sięga kilkunastu stopni Celsjusza. Szyb wentylacyjny może być więc traktowany jako dolne źródło ciepła dla pomp o mocy do kilkuset kilowatów [14].



Rys. 12. Schemat jednostopniowego wykorzystania wód kopalnianych przez wymiennik pośredni [16, 17]

Kamień kopalniany znajdujący się na hałdach kopalnianych zawiera jeszcze kilka do kilkunastu procent węgla pierwiastkowego, który przy dostępie powietrza powoli utlenia się wydzielając ciepło. Czasem temperatura jest na tyle wysoka, że dochodzi do samozapłonu. Hałda taka może z powodzeniem być wykorzystywana jako dolne źródło ciepła [14].

W Polsce, której energetyka oparta jest na węglu kamiennym i brunatnym zachodzi konieczność odwadniania kopalni głębinowych (węgiel kamienny) i kopalni odkrywkowych (węgiel brunatny). Temperatura wód kopalnianych jest praktycznie stała w ciągu roku i przeważnie wynosi kilkanaście stopni Celsjusza. Przykładowo, w studium przygotowanym przez PAN [15] przedstawiono możliwości wykorzystania wody kopalnianej dla KWK Piast. Na rysunku 10 przedstawiono schemat jednostopniowego wykorzystania wód kopalnianych przez wymiennik przeponowy. Docelowo ciepło z wody kopalnianej ma zostać wykorzystane w łaźni dla pracowników zakładu górniczego. W Programie Wykorzystania Odnawialnych Źródeł Energii na Terenach Nieprzemysłowych Województwa Śląskiego [16, 17] wskazano, że najbardziej predysponowane do pozyskiwania ciepła z wód kopalnianych są powiaty: rybnicki, bieruńsko-lędziński i będziński.

Pompy ciepła mogą pracować z wysoką wydajnością korzystając z ciepłej wody zrzucanej z zakładów przemysłowych i elektrowni. Przykładowo, Jezioro Pątnowskie nigdy nie zamarza, od wielu lat w Koninie rozgrywane są jedyne w Polsce zimowe zawody żeglarskie pn. Zimowe Regaty Barbórkowe [18].

## 4. Sprawność pomp ciepła

Do scharakteryzowania pomp ciepła używa się współczynnika wydajności (efektywności) pompy ciepła, tzw. COP, który jest równy stosunkowi ciepła uzyskanego w górnym źródle ciepła do włożonej pracy (w przypadku układu sprężarkowego). Współczynnik ten może przyjmować w praktyce wartości od około trzech do kilkunastu, co oznacza dużą oszczędność energii elektrycznej w porównaniu z grzejnikiem elektrycznym [8, 19]:

$$COP = \frac{E_s}{E_e} \leq \frac{T_s}{T_s - T_p} = \frac{1}{\eta_c}$$

gdzie:

$E_s, E_e$  – energia przekazana w skraplaczu i dostarczona energia elektryczna [J],

$T_s, T_p$  – temperatura skraplacza i parownika [K],

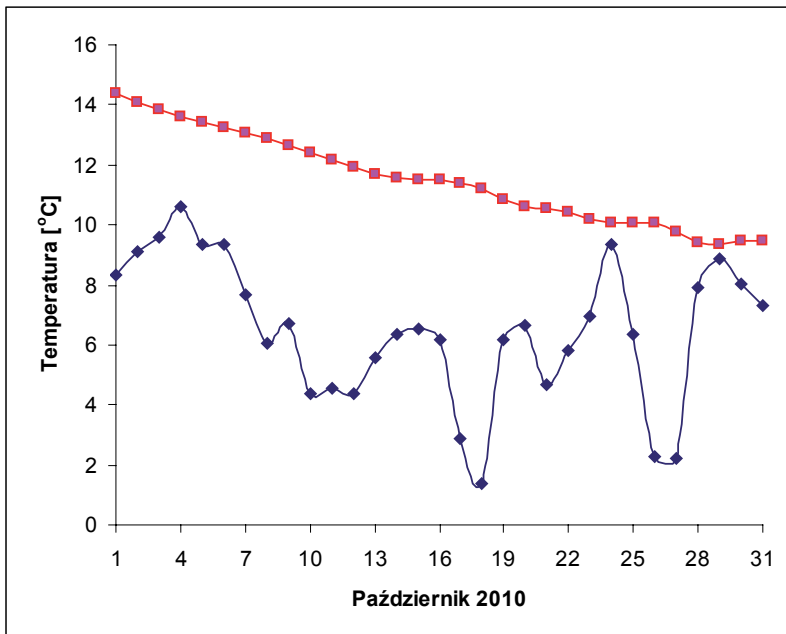
$\eta_c$  – sprawność cyklu Carnota

Ze wzoru tego wynika, że pompy ciepła mają dużą efektywność przy małej różnicy temperatury, a tracą ją szybko wraz ze wzrostem tej różnicy. Seryjnie budowane sprężarkowe pompy ciepła osiągają sprawność równą 50–60% sprawności pompy doskonałej. W odniesieniu do wystandaryzowanych warunków pracy (temperatura parownika 0°C, temperatura skraplacza 50°C) daje to współczynnik efektywności pompy około 3,5, co oznacza, że ponad

70% dostarczonego przez pompę ciepła pochodzi z dolnego źródła, a reszta z sieci elektrycznej.

## 5. Gruntowe wymienniki ciepła

Gruntowe wymienniki ciepła (GWC) „współpracują” z pompą ciepła (rozdział 3.2.1 oraz 3.2.2), mogą również pracować samodzielnie [20]. Jest to urządzenie znane już od starożytności, będące elementem komina słonecznego [19].



Rys. 11. Porównanie temperatury dobowej powietrza na wysokości 2 m (kolor niebieski) i gruntu na głębokości 1 m (kolor czerwony) w październiku 2010 w Toruniu – dane z Obserwatorium Meteorologicznego Zakładu Klimatologii IG UMK [21]

Do wymiennika ciepła wpływa powietrze z zewnątrz; latem oziębia się, zaś zimą ogrzewa [22]. Na rysunku 11 podano średniodobowe temperatury powietrza na wysokości 2 m i gruntu na głębokości 1 m w październiku 2010 r. Podczas dużych mrozów różnice są znaczące: aktualnie (02.12.10. godz. 23:00)

temperatura na 2 m wynosi  $-13,0^{\circ}\text{C}$ , zaś gruntu na głębokości 1 m  $+5,8^{\circ}\text{C}$  [23]. Mroźne powietrze zewnętrzne wpływa do wymiennika, ogrzewa się w nim nawet do  $+2\div 3^{\circ}\text{C}$  i tak ogrzane wpływa do budynku. Praca wymiennika musi być wspomagana (np. pompą ciepła czy kotłem na biomasę), lecz mimo pomocy, bilansuje dodatnie korzyści finansowe, dlatego w nowoczesnych domach jest to coraz popularniej wykorzystywane rozwiązanie.

## 6. Literatura

1. <http://www.bosch-prasa.pl> (wejście 12.11.10).
2. W. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa 2007.
3. <http://www.remontybudowlane.eu> (wejście 15.11.10).
4. P. Lachman, *Pompa ciepła – standard w nowych budynkach w ...Szwajcarii*, Polski Instalator 11, 2008.
5. <http://www.ehpa.org/publications> (wejście 12.11.10).
6. M. Rubik, *Pompy ciepła: poradnik*, Wyd.: Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, Warszawa 2006.
7. P. W. Atkins, *Chemia fizyczna*, PWN, Warszawa 2007.
8. R. Hołyst, A. Poniewierski, A. Ciach, *Termodynamika dla chemików, fizyków i inżynierów*, IChF PAN, Warszawa 2003.
9. W. Oszczak, *Ogrzewanie domów z zastosowaniem pomp ciepła*, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 2009.
10. Materiały udostępnione przez firmę NIBE-BIAWAR Sp. z o.o., Al. Jana Pawła II 57, 15–703 Białystok.
11. T. Śliwa, Pompy ciepła, 104–141, w: J. Pawlak (red.), *Odnawialne źródła energii w Małopolsce. Poradnik*, Stowarzyszenie Gmin Polska Sieć „Energie Cités”, Kraków 2007.
12. A.L. Kowal, M. Świdorska-Bróż, *Oczyszczanie wody*, PWN, Warszawa 2009.
13. <http://hubomag.eu/dzpz.php> (wejście 23.11.10).
14. W. Nikodem, *Nowe technologie energetyczne OZE w programach restrukturyzacyjnych regionów górniczych*, Materiały XXII Konferencji z cyklu „Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej, Ustroń, 19–22.10.2008.
15. PAN, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Wykorzystanie energii wód kopalnianych dla zaspokojenia potrzeb cieplnych łazni górniczej w KWK Piast, [http://slaskie.pl/oze/sc\\_kwk\\_piast.pdf](http://slaskie.pl/oze/sc_kwk_piast.pdf) (wejście 16.06.10).
16. W. Bujakowski i in, *Program wykorzystania odnawialnych źródeł energii na terenach nieprzemysłowych województwa śląskiego*, Kraków–Katowice 2005.
17. <http://www.silesia-region.pl> (wejście 16.06.10).
18. <http://www.konin.lm.pl> (wejście 16.06.10).
19. <http://pl.wikipedia.org> (wejście 24.11.10).
20. <http://gwc.com.pl/ogwc.php> (wejście 24.11.10).
21. R. Maszewski, materiały przekazane przez Zakład Klimatologii IG, UMK.

# POMPY CIEPŁA W POLSCE

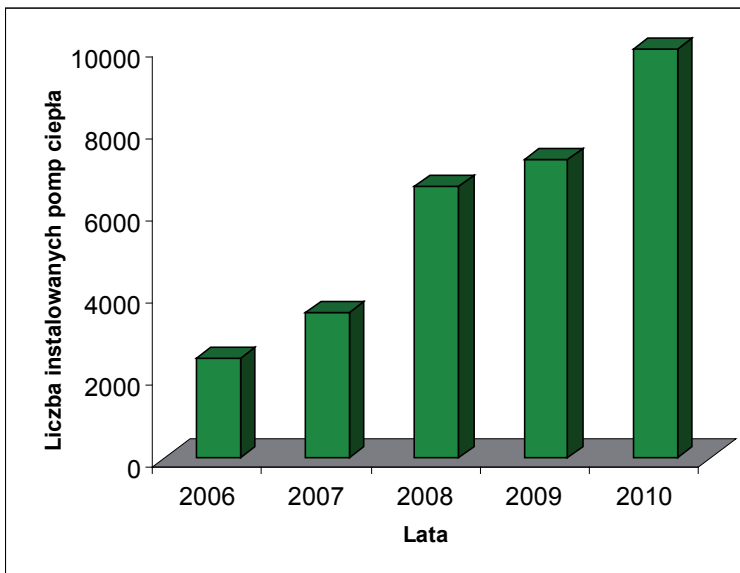
## 1. Rynek pomp ciepła w Polsce

Rynek pomp ciepła w Polsce jest stosunkowo młody. Pierwsze pompy ciepła założono w 1995 roku. Wykorzystując światowe doświadczenia w zakresie promocji i wdrażania pomp ciepła, w 2003 r. zostało powołane Polskie Stowarzyszenie Pomp Ciepła (PSPC) [1]. Do pierwszych zadań Stowarzyszenia należało m.in. rozpoznanie uwarunkowań prawnych w zakresie możliwości stosowania pomp ciepła w budownictwie, zebranie norm dotyczących tych urządzeń, nawiązanie współpracy z firmami produkującymi i instalującymi pompy ciepła, organizowanie szkoleń i prowadzenie doradztwa technicznego. W nowej sytuacji możliwe stało się podjęcie szerszego spektrum zadań obejmujących [1]:

- podnoszenie świadomości społecznej na temat OZE, w tym w szczególności pomp ciepła jako najlepszej technologii ogrzewania/chłodzenia,
- promowanie i rozpowszechnianie informacji o „dobrych przykładach” instalacji z pompami ciepła,
- wspieranie firm zajmujących się pompami ciepła oraz inwestorów, poprzez upowszechnianie informacji o zmianach prawa, możliwościach pozyskania wsparcia oraz rozwiązywanie sytuacji konfliktowych,
- współpracę z organami administracji państwowej i samorządowej w zakresie przystosowania przepisów prawa polskiego dotyczącego pomp ciepła do wymagań Unii Europejskiej i warunków krajowych,
- szkolenia i certyfikacje według standardów europejskich zgodnie z dyrektywą 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r.,
- monitorowanie udziału pomp ciepła jako OZE w zaopatrzeniu w ciepło, do celów rozliczenia zobowiązań Polski dotyczących wykorzystania OZE,
- przygotowywanie opinii, ocen i ekspertyz techniczno-ekonomicznych dotyczących instalacji z pompami ciepła,

- współpracę z placówkami naukowo-badawczymi w zakresie technologii ogrzewania/chłodzenia wykorzystujących pompy ciepła, oraz
- monitorowanie i analizę sytuacji polskiego rynku pomp ciepła.

Obecnie, w Polsce instaluje się kilka tysięcy pomp ciepła rocznie, liczba ta w 2010 r. powinna osiągnąć 10000 sztuk (rysunek 1). Wśród instalowanych urządzeń większość stanowią pompy typu: grunt-woda, powietrze-woda oraz woda-woda (tabela 1). Prognozy rozwoju rynku pomp ciepła w Polsce (przez analogię do innych krajów) wskazują na roczne zapotrzebowanie na poziomie 50–70 tys. sztuk [2].



Rys. 1. Liczba instalowanych pomp ciepła w latach 2006–2009 oraz prognozowana na rok 2010 [2]

Tabela 1. Liczba i rodzaj instalowanych pomp ciepła w Polsce w 2009 r. [2]

Rodzaj pompy	Liczba sztuk
grunt-woda	3750
powietrze-woda	2950
woda-woda	450
przemysłowe	95
gazowe	60
łącznie	7305

Instalacja pompy ciepła w Polsce to nadal droga inwestycja. W tabeli 2 przedstawiono koszty pompy, jej wyposażenia, instalacji oraz czas zwrotu w porównaniu do kotłowni olejowej. Oprócz efektów ekonomicznych i środowiskowych (energia odnawialna) pompa ciepła to wygoda: pompa pracuje bezobsługowo, co w przypadku codziennego opalania węglem, pozwala zaoszczędzić sporo czasu jak również nie dochodzi do zatruć czadem.

Tabela. 2. Przykładowe zestawienie kosztów pomp ciepła firmy Ecoway [2]

Nazwa/moc grzewcza	Cena detaliczna pompy [PLN]	Koszt dolnego źródła oraz koszty dodatkowe [PLN]	Suma kosztów [PLN]	Czas zwrotu inwestycji (olej opałowy) [lata]
Alpha Inno Tec compact SWC 120H (11,7 kW)	33300	23000	56300	5
Danfoss kompaktowa centrala grzewcza DHP-H 12 (11,1 kW)	29809		52809	4
IVT Greenline HT Plus C11 (10,9 kW)	32900		55900	5
NIBE compact FIGHTER 1240 12 kW (11,6 kW)	29900		52900	4
OCHSNER Combi GMSW 10 plus (10,1 kW)	36500		59500	5
Vaillant compact VS C102 (10,4 kW)	30980		53980	4
Viessmann Vitocal 300-G BWC 110 (10,6 kW)	35500		58500	5
Vikers-onn Bjørn 11 kW (11,2 kW)	17601		40601	3

Parametry jakie należy porównać przy wyborze dolnego źródła to przede wszystkim:

- temperatura jaką można uzyskać z danego źródła i co za tym idzie koszt wytwarzania ciepła przez pompę ciepła,
- czas i koszt wykonania odbiornika ciepła, oraz
- żywotność dolnego źródła i pompy ciepła [3].

Temperatura, jaką można uzyskać z dolnego źródła będzie miała wpływ na sprawność urządzenia oraz koszt wytwarzania ciepła, ponieważ pompa ciepła pracuje najbardziej efektywnie przy jak najmniejszej różnicy pomiędzy temperaturą na wejściu do pompy ciepła a temperaturą zasilania systemu grzewczego.

Tabela 3. Roczny koszt ogrzewania budynku o powierzchni 160 m<sup>2</sup> dla pompy ciepła NIBE F1145 o mocy 8 kW przy 100%-owym stopniu pokrycia mocy dla różnych rodzajów dolnego źródła [3]

Rodzaj dolnego źródła	COP	Roczne zużycie energii przez pompę ciepła [kWh]	Roczny czas pracy pompy [h]	Roczny koszt ogrzewania [0,50 PLN/kWh]
Woda gruntowa [8°C]	6,9	2305	1367	1153
Woda powierzchniowa [5°C]	5,9	2677	1623	1339
Grunt [0°C]	5,4	2926	1794	1463

Analizując dane zawarte w tabeli 3 można zauważyć, że im wyższa temperatura na wejściu do pompy ciepła tym większa jej wydajność oraz niższy koszt ogrzewania domu. Mimo to bardziej popularne w Polsce są pompy ciepła typu solanka-woda, gdyż decydujące znaczenie mają warunki praktyczne i formalne wykonania odbiornika ciepła z dolnego źródła [3].

System dolnego źródła na bazie wody gruntowej składa się ze studni do poboru i zrzutu wody, wymaga również określenia lokalizacji źródła, poziomu warstwy wodonośnej, wydajności źródła, określenia lokalnych warunków hydrogeologicznych oraz jakości wody. Ze względu na zawartość zanieczyszczeń w wodzie gruntowej, producenci pomp ciepła zalecają stosowanie pośredniego wymiennika ciepła. Jeżeli poziom zanieczyszczeń mineralnych i chemicznych wody przekracza dopuszczalne wartości lub wydajność ujęcia wody jest zbyt mała, wówczas jej wykorzystanie jako źródła ciepła może być niemożliwe. Ponadto, studnię zrzutową należy wykonać w taki sposób, aby zrzut chłodnej wody miał miejsce w odległości minimum 15 m od ujęcia, do tej samej warstwy wodonośnej, co w praktyce bywa niemożliwe do osiągnięcia i często jest powodem dla którego instalatorzy nie chcą podejmować się prac i ryzyka związanego z tego typu rozwiązaniem [3].

W Polsce montaż pompy ciepła korzystającej z ciepła zgromadzonego w wodzie wymaga najwięcej formalności. Wykorzystanie wód gruntowych regulują przepisy: Prawa wodnego, Prawa Ochrony Środowiska, Prawa budowlanego, Ustawy o planowaniu i gospodarowaniu przestrzennym oraz Prawa górniczego i geologicznego. Woda po przepłynięciu przez wymiennik pompy ciepła uznawana jest za ściek, a odprowadzanie ścieków, jak i korzystanie z wody do celów energetycznych czy wykonanie studni o głębokości ponad 30 m wymaga uzyskania pozwolenia wodnoprawnego. Pozwolenie wodnoprawne wydawane jest przez starostę w drodze decyzji, na czas określony, nie krótszy niż 10 lat. Starosta ma prawo pozwolenie cofnąć. Trudności w wykorzystaniu wód powierzchniowych związane są przede wszystkim

z brakiem zbiornika wodnego w okolicy budowy obiektu, który można by wyposażyć w pompę ciepła. Jeżeli odbiorca zdecyduje się na system z bezpośrednim poborem wody i tłoczeniem jej przez wymiennik pośredni, musi wówczas rozwiązać problem zamulania oraz likwidacji zanieczyszczeń mineralnych, chemicznych i organicznych. Jeżeli ciepło będzie odbierana poprzez kolektor zatapialny, wówczas zbiornik wodny powinien charakteryzować się odpowiednią powierzchnią i głębokością (powyżej 3 m) [3].

W Polsce więcej montuje się instalacji z kolektorem pionowym niż poziomym. Atutem kolektora pionowego jest stosunkowo niewielka powierzchnia terenu, potrzebna do zamontowania kolektora. Z reguły są to pionowe odwierty, sięgające około 100 m w głąb Ziemi. Wykonanie kolektora gruntowego poziomego jest tańsze, jednak wadą jest to, iż na głębokości 1,2÷2 m, na której układa się kolektor gruntowy poziomy, występują dość duże wahania temperatury gruntu i jeżeli pętle kolektora będą zbyt blisko siebie ułożone, a ich długość źle zwymiarowana, w stosunku do właściwości fizycznych gruntu, może nastąpić jego nadmierne wychłodzenie. Prowadzi to do niedogrzanania budynku lub nawet zatrzymania pracy pompy ciepła (minimalna dopuszczalna temperatura dolnego źródła dla większości oferowanych pomp ciepła wynosi  $-5^{\circ}\text{C}$ ). Ponadto, należy pamiętać, że grunt w którym znajduje się kolektor gruntowy poziomy w okresie wiosenno-letnim musi ulec regeneracji, w związku z czym nie wolno utrudniać penetracji energii słonecznej i wody deszczowej przez np. zabetonowanie terenu nad kolektorem [3].

Czas wykonania instalacji kolektora gruntowego poziomego lub kolektora zatapialnego wynosi około 5 dni, zaś czas wykonania kolektora pionowego lub studni czerpalnej i zrzutowej gdy dolnym źródłem jest woda gruntowa wynosi około 3 dni. Najbezpieczniejszy dla działania pompy jest kolektor gruntowy (niektórzy producenci systemów dolnych źródeł dają 50-letnią gwarancję), natomiast nie można przewidzieć, czy jakość i wydajność wody gruntowej czy też jakość, głębokość i inne parametry zbiorników wody powierzchniowej nie ulegną z czasem zmianom, które mogą mieć znaczący wpływ na funkcjonowanie pompy ciepła. Żywotność całej pompy ciepła określa żywotność sprężarki i bez względu na dolne źródło (przy założeniu że do modułu chłodniczego w pompie ciepła dostarczany jest ten sam czynnik niezamarzający) szacuje się na poziomie 25 lat.

Pompy ciepła wykorzystujące powietrze zewnętrzne cieszą się dużą popularnością w krajach zachodniej Europy; również i w Polsce są coraz częściej montowane. Powietrzne pompy ciepła mogą współpracować z innymi źródłami ciepła, takimi jak np. kotły elektryczne, olejowe czy gazowe. Zastosowanie powietrznych pomp ciepła w takich przypadkach pozwala na redukcję kosztów ogrzewania nawet o około 60%. Należy jednak pamiętać, że największym mankamentem tego rozwiązania są sezonowe i pogodowe zmiany

temperatury powietrza, szczególnie w okresie zimowym (dla temperatury poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$  współczynnik COP wynosi zaledwie 2–3) [3, 4].

Tabela 4. Roczny koszt ogrzewania budynku o powierzchni  $160\text{ m}^2$  dla gruntowej pompy ciepła NIBE F1145 o mocy 8 kW i pompy zasilanej powietrzem zewnętrznym typu SPLIT (moc grzewcza modulowana w zakresie 3,5–12 kW) oraz pompy zasilanej powietrzem zewnętrznym typu monoblok (stała moc grzewcza 10 kW) [4].

Dolne źródło ciepła	Rodzaj pompy ciepła	COP	Stopień pokrycia mocy [%]	Czas pracy pompy ciepła [h]	Roczne zużycie energii elektrycznej (pompa+źródło szczytowe)	Roczny koszt ogrzewania [0,50 PLN/kWh]
Powietrze-woda, monoblok	NIBE F2025 (stała 10 kW)	3,6	50	1893	4638	2319
Powietrze-woda, split	NIBE SPLIT (zmienna w zakresie 3,5-12 kW)	3,7	71	4026	4319	2159
Solanka-woda	NIBE F1145 (stała 8 kW)	5,4	100	1794	2926	1463

Niewątpliwą zaletą pomp zasilanych powietrzem zewnętrznym jest prostota ich instalacji. Pompy ciepła „zasilane” powietrzem zewnętrznym nie wymagają specjalnego pomieszczenia, ustawia się ją na zewnątrz przy budynku (lub na ścianie budynku w przypadku urządzeń typu SPLIT). Pompa taka wymaga jednak dodatkowego źródła grzewczego. Wadą tego typu urządzeń może być hałas, który powstaje podczas ich pracy i może być uciążliwy dla sąsiadów. Dlatego należy zwracać szczególną uwagę na ten parametr przy wyborze marki urządzenia. Inaczej przedstawia się sytuacja pomp ciepła zasilanych powietrzem wentylacyjnym, których główną funkcją jest wentylacja z odzyskiem ciepła, wykorzystywanego do ogrzewania wody i zasilania systemu grzewczego. Systemy te są konkurencyjne dla typowych układów wentylacji z rekuperacją do domów jednorodzinnych. Stanowią również idealne rozwiązanie dla budynków, w których ze względu na ich funkcjonalność istnieje zapotrzebowanie na wentylację i ciepłą wodę (np. restauracje, stołówki, kuchnie, domki letniskowe). Pompy ciepła zasilane powietrzem wentylacyjnym odzyskują energię z powietrza wentylacyjnego przez cały rok, podczas gdy rekuperatory tracą swą sprawność wraz ze spadkiem różnicy temperatur

między powietrzem nawiewnym a wywiewnym. Napływ świeżego powietrza następuje poprzez nawiewniki ściennie lub okienne, bez ryzyka „zaciągnięcia” zanieczyszczeń. Praca w systemie wyłącznie wentylatora wywiewnego daje lepszą kontrolę nad wymianą powietrza i mniejsze zużycie energii elektrycznej. W tabeli 4 przedstawiono roczny koszt ogrzewania budynku o powierzchni 160 m<sup>2</sup> dla gruntowej pompy ciepła NIBE F1145 o mocy 8 kW i pompy zasilanej powietrzem zewnętrznym typu SPLIT (moc grzewcza modulowana w zakresie 3,5–12 kW) oraz pompy zasilanej powietrzem zewnętrznym typu monoblok (stała moc grzewcza 10 kW [4].

Analizując dane z tabeli 4 można zauważyć iż najtańsza w eksploatacji jest pompa solanka-woda. Jednakże koszt instalacji pompy zasilanej powietrzem zewnętrznym to praktycznie koszt samego urządzenia i montażu (30 000–35 000 PLN brutto). Powietrzne pompy ciepła są znakomitą alternatywą, gdy działka jest mała i nie ma żadnej możliwości wykonania wymiennika gruntowego [4].

## 2. Efekt środowiskowy stosowania pomp ciepła

Rozwój pomp ciepła, korzystających z odnawialnych źródeł energii, wspierany jest przez Unię Europejską. Dzieje się tak za sprawą wielu nowych aktów prawnych. Najważniejszym z nich jest Dyrektywa 2009/28/WE (RES), której zadaniem jest promowanie stosowania energii ze źródeł odnawialnych. Ważną rolę odgrywa również Dyrektywa EuP (*Energy Using Products*) z roku 2005 (2005/ 32/WE) w sprawie ogólnych zasad ustalania wymogów ekoprojektu w odniesieniu do produktów wykorzystujących energię. Efektem realizacji tej dyrektywy jest wprowadzenie oznakowania efektywności energetycznej (klas energetycznych) dla urządzeń grzewczych, w tym również dla pomp ciepła. W aktualnym projekcie oznakowania, pompy ciepła w zależności od typu, znajdują się w najwyższych klasach energetycznych A+++ , A++ [5].

Na mocy dyrektywy zwanej potocznie 20/20/20 wszystkie kraje członkowskie Unii Europejskiej zobowiązały się że do 2020 roku 20% wytwarzanej energii będzie pochodziło z odnawialnych źródeł energii. Należy mieć nadzieję, że również w Polsce doczekamy się systemu wsparcia inwestycji w pompy ciepła. Dobrym przykładem promowania technologii pomp ciepła są specjalne taryfy energetyczne dedykowane dla tych urządzeń, stosowane w Niemczech, Szwajcarii, Austrii, Czechach czy Francji, a także różnego rodzaju formy dotacji, czy ulg podatkowych. Gdyby w Polsce udało się uruchomić dobry mechanizm wsparcia inwestycji z pompami ciepła, korzystając z doświadczenia krajów Europy Zachodniej (w tym również Czech), w ciągu kilku lat, liczba inwestycji mogłaby wzrosnąć nawet 10-krotnie. Taki wzrost inwestycji

pozytywnie wpłynie na zwiększenie efektywności energetycznej, redukcję emisji CO<sub>2</sub> i innych zanieczyszczeń [5].

Zastosowanie technologii pomp ciepła obniża ilość energii pierwotnej (nawet o ponad 50%) w stosunku do innych systemów grzewczych. Analiza ekonomiczna wyraźnie wskazuje, że pompa ciepła jest najbardziej ekonomicznym urządzeniem grzewczym spośród konwencjonalnych systemów grzewczych. Koszty inwestycyjne są co prawda wysokie, jednakże niskie koszty eksploatacji powodują, że inwestycja po kilku latach się zwraca. Dodatkowo, pompa ciepła nie wymaga przyłącza gazu, składu opału, zbiorników na olej, czy zbiornika na propan-butan, jak również wykonania komina. Pompa ciepła funkcjonuje bez palnego paliwa w budynku, nie wymaga pomiarów spalin [5].

Pompa ciepła jest urządzeniem nie wymagającym obsługi, a jej system jest najmniej awaryjnym systemem grzewczym (przeгляд pompy ciepła ogranicza się do sprawdzenia ustawień parametrów pracy i wyczyszczenia filtra zanieczyszczeń). Żywotność pompy ciepła szacowana jest na około 20–25 lat [5].

### 3. Pompy ciepła w Polsce – przykłady

W tym rozdziale przedstawiono kilkanaście wdrożonych rozwiązań proekologicznych z zastosowaniem pompy ciepła. Chcielibyśmy podziękować firmie Eko-Inicjatywa z Kwidzyna, firmie NIBE-BIAWAR Sp. z o.o z Białegostoku, jak również naszym Respondentom za przekazane materiały i uwagi.

#### 3.1. Benowo (woj. pomorskie)<sup>1</sup>

*Wykorzystanie pomp ciepła na potrzeby działalności Ośrodka Aktywności Lokalnej „Zaułek Benowo” w Benowie*

Wykorzystanie alternatywnych źródeł pozyskiwania energii staje się coraz popularniejsze wśród klientów indywidualnych. Firmy konkurują w konstruowaniu urządzeń o mocy dostosowanej do zapotrzebowania klientów indywidualnych. Możliwe jest również pozyskiwanie dofinansowania na zmianę sposobu ogrzewania ze środków europejskich lub funduszy krajowych. W ten sposób można uniezależnić się od sieci ciepłowniczej szczególnie na obszarach, gdzie dostęp do węzła ciepłowniczego jest trudny. Podobnymi przesłankami kierował się zarząd Stowarzyszenia Eko-Inicjatywa dokonując modyfikacji węzła ciepłego w podległej sobie jednostce „Zaułek Benowo” [6].

<sup>1</sup> Materiał na temat wykorzystania pomp ciepła w Benowie przygotował Janusz Kowalak, specjalista ds. edukacji ekologicznej Stowarzyszenia Eko-Inicjatywa z Kwidzyna.



Rys. 2. Wykonywanie jednego z odwiertów dolnego źródła ciepła [6, 8]

„Zaułek Benowo” [7] powstał z inicjatywy mieszkańców wsi Benowo (woj. pomorskie, pow. kwidzyński) i Stowarzyszenia Eko-Inicjatywa z Kwidzyna. Pod koniec 2006 roku Eko-Inicjatywa przejęła od gminy Ryjewo budynek po nieistniejącej tam szkole. Budynek poddano gruntownej modernizacji uwzględniając zmianę obowiązującej instalacji ciepłowniczej. Zaułek Benowo działa

jako Ośrodek Aktywności Lokalnej integrując mieszkańców w działaniach na rzecz ochrony przyrody i animacji społecznej.

Rozpoczęcie prac modernizacyjnych w Benowie poprzedziła analiza geomorfologiczna rozpatrywanego terenu. Przy wyborze miejsca wykonania odwiertów ustalono także optymalne parametry, m. in. ich głębokość, odległości między odwiertami, moc pompy ciepła, która wynika z zapotrzebowania na ciepłą wodę. W przypadku pomp zastosowanych w Benowie dokonano sześciu odwiertów pionowych o głębokości 120 m każdy. Odległości między odwiertami wynoszą 8 m [6, 8].

Moc zastosowanej pompy wynosi 41,5 kW – według obliczonego zapotrzebowania do ogrzania budynku konieczne jest 42,1 kW. W projekcie uwzględniono instalację z rozdziałem na instalację ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) zasilającej pomieszczenia budynku z wykorzystaniem zbiornika o pojemności 750 dm<sup>3</sup>. Ze względu na niewystarczającą moc zainstalowanych urządzeń ciepłych zdecydowano się na zastosowanie dodatkowo kotła elektrycznego o mocy 24 kW [6, 8].



Rys. 3. Przyłącza instalacyjne pompy ciepła i sprzężonych z nią kolektorów słonecznych [6, 8]

Tabela 5. Charakterystyka zastosowanej pompy ciepła (GREENLINE D40) [6, 8]

Parametr	Jednostka	Wartość
Moc urządzenia	kW	41,5
Nominalny przepływ czynnika grzewczego	dm <sup>3</sup> /s	1,22
Nominalny przepływ płynu niezamarzającego	dm <sup>3</sup> /s	2,38
Ciśnienie maksymalne w systemie grzewczym	bar	4,00
Podłączenie elektryczne	-	400V 3N – 50Hz
Najwyższa temperatura czynnika grzewczego	°C	55
Masa czynnika chłodniczego	kg	8,5
Przyłącze obiegu czynnika grzewczego	mm	Cu35
Przyłącze obiegu płynu niezamarzającego	mm	Cu42
Masa	kg	350
Wymiary (szer. x głęb. x wys.)	mm	700x750x1520

W wyniku modernizacji węzła ciepłowniczego zredukowano całkowicie emisję gazów i pyłów stanowiących produkt spalania węgla w ilości 125 Mg rocznie. „Zaułek Benowo” jest obiektem o powierzchni użytkowej 458,28m<sup>2</sup>. Do ogrzewania pomieszczeń i wody stosowano uprzednio kocioł rzemieślniczy na węgiel kamienny o zużyciu węgla ilości 50 Mg/rok. Modernizacja polegająca na zastosowaniu pompy ciepła i kolektorów słonecznych była kosztowną inwestycją, ale osiągnięty efekt ekologiczny rekompensuje tę inwestycję. Należy podkreślić fakt, że na reorganizację węzła ciepłowniczego pozyskano środki z Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku. Łączny koszt inwestycji wyniósł 244662,53 PLN, z czego instalacja pomp ciepła to 137070,19 PLN. Największy udział stanowiło wykonanie odwiertów dolnego źródła ciepła (70200 PLN) i zakup pompy ciepła (40000 PLN). Istotną zaletą stosowania pomp ciepła jest ich bezobsługowa praca. Rekompensuje to wysokie koszty użytkowania (ok. 13000 PLN/rok), wynikające z dużego poboru prądu przez urządzenia sterujące. Od początku uruchomienia (okres dwóch lat) zastosowany kocioł elektryczny pracował przez 240 godzin, pompa ciepła natomiast 4702 godziny (średni czas pracy w ciągu miesiąca wynosi 170 godzin). Zatrudnienie w pełnym wymiarze godzin pracownika oraz koszt paliwa (biorąc pod uwagę rosnące ceny paliw kopalnych) stanowiło rocznie wyższe obciążenie finansowe niż obecne rozwiązanie. Połączenie układu pompy ciepła z kolektorami słonecznymi umożliwia osiągnięcie temperatury powyżej 70°C [6, 8].

Teren, na którym dokonano odwiertów obecnie nie nosi śladów dokonywanych tam kilka lat temu działań. Zastosowanie pomp ciepła przy instytucji o charakterze edukacyjno-animacyjnym bardzo usprawnia jego pracę.

Bezobsługowe i bezawaryjne działanie urządzeń obsługujących pompę ciepła stanowi jej ogromną zaletę. Hałas wywołany działaniem pompy nie powoduje uciążliwości dla osób korzystających z Zaułka. Z pewnością tego typu system grzewczy jest godny polecenia dla ośrodków dydaktyczno-wypoczynkowych w małych miejscowościach i na obszarach wiejskich, gdzie stosowanie tradycyjnych metod ogrzewania wiąże się z zaangażowaniem dodatkowych osób, a także co najistotniejsze z emisją szkodliwych substancji do atmosfery [6, 8].

Tabela 6. Parametry eksploatacyjne pompy ciepła w Benowie [6, 8]

Parametr	Jednostka	Wartość
Ilość gazów emitowana przed modernizacją	Mg/rok	125
Powierzchnia użytkowa Zaułka	m <sup>2</sup>	458,28
Ilość zużywanego węgla kamiennego	Mg/rok	50
Łączny koszt inwestycji, w tym:	PLN	244 622,53
Instalacja pompy ciepła	PLN	137 070,19
Koszt odwiertów	PLN	70 200
Koszt zakupu pompy ciepła	PLN	40 000
Koszt użytkowania instalacji po modernizacji	PLN /rok	13 000
Czas pracy pompy ciepła od uruchomienia	h	4 702 (170 h/miesiąc)
Czas pracy kotła elektrycznego wspomagającego	h	240

### 3.2. Bielawa (woj. dolnośląskie)

W Bielawie utworzono Centrum Odnawialnych Źródeł Energii celem wykształcenia kadr w zakresie instalacji technologii odnawialnych źródeł energii. Zainstalowano tam: kolektory wykorzystujące energię Słońca, moduły fotowoltaiczne, pompy ciepła do ogrzewania wody użytkowej, ogrzewania i klimatyzacji pomieszczeń. Pompy ciepła współpracują z kotłownią na drewno i słomę, jak również z instalacją solarną. Zamontowane w Centrum urządzenia spełniają 3 podstawowe funkcje:

- dydaktyczną – nauczanie przyszłych techników,
- użytkową – w celu zasilania energią Powiatowego Centrum Kształcenia Praktycznego,
- promocyjną – informowanie społeczeństwa, poradnictwo [9, 10].

### 3.3. Cedry Wielkie (woj. pomorskie)

W Cedrach Wielkich zmodernizowano kotłownię i system grzewczy w szkole podstawowej. Zastąpiono drogą w eksploatacji kotłownię węglową maszynownią pomp ciepła. Zastosowano pompy typu woda- woda ALAND KAL PLUS o mocy 135 kW. Dolnym źródłem ciepła są odwierty studzienne – jeden przewidziano jako ujęcie wody; drugi – do zatłaczania wody do złoża. Sprawność systemu dla temperatury parowania/skrapiania: 0/55°C wynosi  $COP=4$ . System zdawania ciepła wykorzystuje grzejniki niskotemperaturowe (z głowicami termostatycznymi), dobrane na parametry 55/45°C. Pojemność zasobnika wody użytkowej wynosi 500 dm<sup>3</sup>. Układ grzewczy jest w pełni zautomatyzowany, uwzględnia sterownik pogodowy, priorytet ciepłej wody użytkowej oraz 2-taryfowy układ rozliczania za energię elektryczną [11].

### 3.4. Ciężkowice (woj. małopolskie)

Budynek Zakładu Pielęgnacyjno-Opiekuńczego w Ciężkowicach wbudowany jest częściowo w skarpe. Wysoki poziom wód gruntowych powodował zawilgocenie i niszczenie budynku, zwiększając również nakłady na dodatkowe ogrzewanie olejem opałowym. przeprowadzona w 2005 r. modernizacja pozwoliła wykorzystać ciepło wód gruntowych do ogrzewania Zakładu, obniżając jednocześnie ich poziom. Pompa ciepła (2 niezależne układy na wypadek awarii o mocy 76 oraz 80 kW) pełni rolę podstawowego źródła ciepła, zaś istniejąca kotłownia olejowa szczytowo-rezerwową [11].

### 3.5. Goszczanów (woj. łódzkie)

W Banku Spółdzielczym w Goszczanowie pracuje pompa ciepła o mocy 5,5 kW. Zimą pompa jest wspomagana piecem c.o. na miał węglowy. W banku stosuje się ogrzewanie w systemie podłogowym [11].

### 3.6. Kielce (woj. świętokrzyskie)

Energooszczędny kompleks budynków EXBUDU o kubaturze 96000 m<sup>3</sup> zawiera liczne rozwiązania grzewcze oparte na gruntowych wymiennikach ciepła oraz pompach ciepła. Energia czerpana jest z gruntu za pomocą bezprzeponowych i rurowych wymienników ciepła oraz z ciepła odpadowego. Ponadto, oszczędności w zużyciu energii cieplnej są uzyskiwane przy

zastosowaniu systemów automatycznej regulacji parametrów wentylacji i wymiany powietrza oraz temperatury w określonych pomieszczeniach i okresach czasu. Energooszczędne rozwiązania polegają na [11]:

1) pozyskaniu dodatkowej energii z odnawialnych źródeł zewnętrznych w wyniku zastosowania:

- bezprzeponowych wymienników gruntowych ciepła i masy, oraz
- rurowego wymiennika gruntowego,

2) wykorzystaniu energii odpadowej w wyniku zastosowania:

- rekuperatorów obrotowych w większych instalacjach wentylacyjnych,
- pomp ciepła systemu powietrze-woda do podgrzewania ciepłej wody użytkowej,

3) minimalizacji zużycia ciepła w wyniku:

- recyrkulacji powietrza w pomieszczeniach, w których było to możliwe ze względów higienicznych,
- wentylacji pomieszczeń drugorzędnych za pomocą powietrza wyciąganego z pomieszczeń reprezentacyjnych,
- stosowania „temperatury dyżurnej” w pomieszczeniach nie wentylowanych poza godzinami pracy,
- zastosowania automatycznej regulacji parametrów powietrza w pomieszczeniach za pomocą termostatów i zaworów przy nagrzewnicach powietrza i przy szafkach indukcyjnych,
- wykorzystania izolowanych cieplnie zbiorników akumulacyjnych na ciepłą wodę użytkową.

Nietuzinkowym w skali kraju odnawialnym źródłem energii są wymienniki gruntowe ciepła zastosowane w Centrum Biznesu EXBUD-u do wstępnego ogrzewania świeżego powietrza wentylacyjnego w zimie i schładzania w lecie. Usytuowano je wokół zespołu budynków na niewielkiej głębokości pod trawnikami. Jako źródło akumulacyjno-wymienne służy warstwa gysu granitowego. Stosunek mocy włożonej (mocy silnika wentylatora) do uzyskanej wynosi 1:30. W tego typu wymienniki zwane bezprzeponowymi, wyposażono systemy wentylacyjne większości budynków Centrum. Natomiast budynek hotelowy dysponuje wymiennikiem gruntowym przeponowym rurowym, w którym powietrze wentylacyjne ogrzewa się wstępnie w zimie lub schładza w lecie przepływając przez system rur ułożonych w gruncie na głębokości 1,5 do 2,0 m. Do podgrzewania wody zastosowano pompy ciepła. Zainstalowano je na kanałach wyciągowych wentylacji mechanicznej części wysokiej obiektu w celu odzyskania ciepła z powietrza wylotowego i użycia go do podgrzewania wody użytkowej. Zainstalowano dwie pompy ciepła CIAT Francja typ TF-700.

Zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową wykazuje znaczne wahania w przekroju dobowym, a jednocześnie wentylacja mechaniczna działa okresowo. Zainstalowano izolowane termicznie zbiorniki retencyjne na ciepłą wodę, z których podaje się je systemem hydroforowym do sieci odbiorczej.

Suma oszczędności energii, uzyskana na poszczególnych elementach zastosowanego systemu ogrzewania w stosunku do powszechnie stosowanych rozwiązań tradycyjnych sięga 50%, co stanowi około 400 Mg paliwa umownego rocznie [11].

### *3.7. Kluki (woj. łódzkie)*

W celu ogrzania placówki gminnej wykonano 34 odwierty o głębokości 90 metrów, do których wprowadzono przewody. Sześć pomp ciepła pracuje zamiennie w zależności od temperatury na zewnątrz. Projektanci przewidzieli również sytuację, gdyby zima była wyjątkowo mroźna: w skład układu pomp wchodzi podgrzewacz szczytowy, który włącza się automatycznie, gdy temperatura na zewnątrz spadnie poniżej  $-15^{\circ}\text{C}$ , a ostry mróz będzie trwał dłużej niż 8 dni. Koszty ogrzewania są o około 50% niższe niż w przypadku kosztów ogrzewania olejowego [11].

### *3.8. Ligota Książęca (woj. opolskie)*

W szkole podstawowej i gimnazjum w Ligocie Książęcej zastosowano pompy ciepła Pro D 15/30 kW z siecią centralnego ogrzewania w sali gimnastycznej. Ciepła woda z pomp ciepła jest przesyłana do pomieszczenia kotłowni w piwnicy, gdzie zasila zbiorniki buforowe centralnego ogrzewania o łącznej pojemności  $6\text{ m}^3$  oraz do zbiornika ciepłej wody użytkowej o pojemności  $1,5\text{ m}^3$  [11].

### *3.9. Miechów (woj. małopolskie)*

W 2000 r. w Miechowie rozpoczęto realizację budowy nowoczesnej kotłowni w Gimnazjum nr 1, zaś w 2001 r. w Szkole Podstawowej nr 2. Obie inwestycje zakończono w 2002 r. W tabeli 7 przedstawiono porównanie rocznego ogrzewania  $1\text{ m}^2$  powierzchni w wybranych szkołach w gminie Miechów [9, 11, 12].

Pompy ciepła pozwalają znacząco obniżyć koszty ogrzewania szkoły (tabela 5). Roczny koszt ogrzania  $1\text{ m}^2$  gimnazjum nr 1 Miechowie to 5,14 PLN,

podczas gdy Szkoły Podstawowej w Strzeżowie dziesięciokrotnie więcej – 58,54 PLN.

Tabela 7. Roczny koszt ogrzewania 1 m<sup>2</sup> powierzchni w gminie Miechów (2003 r.) [12]

Nazwa szkoły	Wynagrodzenie pracowników kotłowni [PLN]	Zakup węgla, gazu, oleju, energii elektrycznej [PLN]	Powierzchnia grzewcza [m <sup>2</sup> ]	Koszt ogrzewania 1 m <sup>2</sup> [PLN/rok]
Sz.P. nr 1 w Miechowie	34202	39957	3437	21,58
Sz.P. w Bukowskiej Woli	13066	9136	718	30,92
Sz.P. w Pstroszycach	26000	9460	712	49,80
Sz.P. w Parkoszwicach	27465	9300	690	53,28
Sz.P. w Strzeżowie	24326	4126	486	58,54
Gimnazjum nr 1 w Miechowie	0	42712	3287	12,99
Sz.P. nr 2 w Miechowie	0	11000	2143	5,14

### 3.10. Niepogłędzie (woj. pomorskie)

W Niepogłędziu w 2000 r. w budynku szkoły podstawowej wykonano system grzewczy wykorzystujący pompy ciepła i kolektory słoneczne. Do momentu modernizacji zażytkowy budynek szkoły o powierzchni około 1000 m<sup>2</sup> ogrzewany był za pomocą starego typu grzejników żeliwnych, zasilanych ciepłem z kotła węglowego. Grzejniki tradycyjne zdemontowano, a na ich miejsce zamontowano grzejniki płytowe, wymieniono wszystkie pionowe zasilające c.o., zaś stary kocioł zastąpiono gruntową pompą ciepła OSWP 90 o mocy grzewczej 49 kW (przy temperaturze solanki 0°C i temperaturze wody grzewczej 50°C). Dolne źródło ciepła stanowi grunt, w którym na głębokości 2 m zakopano 22 sekcje kolektora spiralnego. Kolektor gruntowy wykonano na terenie boiska szkolnego oddalonego od pomieszczenia kotłowni o 50 m. Wszystkie sekcje kolektorów spiralnych zostały połączone w studzienkę zbiorczą za pomocą rozdzielaczy i od studzienki do kotłowni doprowadzone jedną magistralą solankową z rur preizolowanych. Pompa solankowa wymusza przepływ solanki przez kolektor gruntowy i parownik pompy ciepła. Ciepło wytworzone przez pompę ciepła magazynowane jest w zbiorniku buforowym c.o. o pojemności 1500 dm<sup>3</sup>. Ciepło wytworzone przez pompę ciepła rozprowadzane jest bezpośrednio ze zbiornika buforowego, całością systemu steruje wewnętrzny regulator pompy ciepła [9, 11].

Do przygotowania ciepłej wody użytkowej w szkole zamontowano również trzy kolektory słoneczne PE 2005 K na dachu budynku, bezpośrednio nad dachówką ceramiczną. W skład zestawu solarnego, oprócz kolektorów, wchodzi również: pompa ciepła Europa 302 (typu powietrze-woda), zespół pompowy oraz różnicowy regulator temperatury obiegu solarnego [9, 11].

Warto wspomnieć, że gmina Dębica Kaszubska, w której znajduje się miejscowość Niepogłędzie otrzymała w lipcu 2010 r. 2,4 mln PLN ze środków unijnych na budowę instalacji solarnych i pomp ciepła w budynkach gminy oraz domach prywatnych [13].

### *3.11. Nowa Wieś Łcka (woj. warmińsko-mazurskie)*

W Nowej Wsi Łckiej wybudowano Dom Pomocy Społecznej o powierzchni 9500 m<sup>2</sup>. Wysokie koszty ogrzewania paliwem węglowym „wymusiły” modernizację ogrzewania Kompleksu. Założono pompę ciepła ALAND KAL 400F o mocy 400 kW pracującą na dwóch czynnikach:

- I sekcja o mocy 240 kW oparta na wodzie głębinowej oraz
- II sekcja o mocy 160 kW odzyskująca ciepło ze ścieków technologicznych i kuchni.

Oprócz pompy ciepła, zamontowano 160 kolektorów słonecznych o mocy 192 kW oraz centrale wentylacyjne z odzyskiem ciepła z powietrza wywiewanego (pralnia, kuchnia, pawilon rehabilitacyjny) [9, 11].

### *3.12. Ostrów Wielkopolski (woj. wielkopolskie)*

W budynku Telewizji Kablowej „Promax” w Ostrowie Wielkopolskim zainstalowano pompę ciepła o mocy 40 kW<sub>t</sub>. Ciepło odzyskiwane jest z gruntu za pomocą 6 kolektorów gruntowych wpuszczonych do otworów wiertniczych (kolektory pionowe). Odbiornikami ciepła w budynku są klimakonwektory oraz ogrzewanie w systemie podłogowym. Zastosowanie pomp ciepła w połączeniu z klimakonwektorami i ogrzewaniem w systemie podłogowym pozwoliło kilkakrotnie zmniejszyć koszt ogrzania 1 m<sup>2</sup> budynku (w porównaniu do paliw konwencjonalnych) [11].

### *3.13. Poznań (woj. wielkopolskie)*

W domu jednorodzinnym o powierzchni 160 m<sup>2</sup> w 2007 r. zamontowano gruntową pompę ciepła z modułem wentylacyjnym oraz pompę zasilaną powietrzem wentylacyjnym.

Koszt ogrzewania domu i wody w okresie 12 miesięcy od 11.2006 do 11.2007 wynosił 2800 zł. Po zainstalowaniu pompy ciepła koszt spadł o około 1/3 (do 1900 zł za sezon grzewczy 2007/2008). Pompa zużywa 15–16 kWh/d, a w sezonie grzewczym uruchamiała się średnio 4–5 razy na dobę (łącznie 1,5h pracy na dobę). Od kwietnia 2008 r., pompa pracuje wyłącznie na cele wentylacji i przygotowania c.w.u [14].

### 3.14. Toruń (woj. kujawsko-pomorskie)

W latach 1819–1822 dla oddziałów pruskich wybudowano w Toruniu zespół obronny, a w nim Koszary Raclawickie. W latach 1921–1938 mieściła się tu pierwsza w Polsce Szkoła Oficerska Marynarki Wojennej, po wojnie zaś internat technikum budowlanego. Po przeniesieniu internatu w inne miejsce, obiekt pod koniec lat 90-tych XX wieku popadł w ruinę. W 2001 r. miasto sprzedało koszary, a na ich miejsce powstał hotel Bulwar. W celu obniżenia kosztów utrzymania hotelu, jak również w trosce o okoliczne zabytki niszczące wskutek spalania paliw kopalnych, zastosowano energię odnawialną do wytwarzania ciepła i chłodu. Zainstalowano pompy ciepła Danfoss DHP-R pracujące w kaskadzie 5-ciu sztuk, każda o mocy 42 kW. Jako dolne źródło przygotowano 18 odwiertów, po 182 m każdy, rozstawionych dookoła budynku. Oprócz pomp, w hotelu pracują również kolektory ciepła, które wspomagają ogrzewanie budynku, jak również podnoszą temperaturę dolnego źródła. Dzięki takiemu rozwiązaniu wzrasta współczynnik efektywności COP pomp ciepła i oszczędności z tytułu ich stosowania. Usuwanie nadmiaru ciepła do gruntu obniża koszty pracy klimatyzacji o około 30% w porównaniu z tradycyjnymi układami produkcji wody lodowej, gdzie nadmiar ciepła usuwany jest do powietrza [15].

Jako urządzenia końcowe do utrzymania komfortu, oprócz ogrzewania podłogowego, nagrzewnic i chłodnic powietrza użyto nowoczesne belki grzewczo-chłodzące. Utrzymują one indywidualnie regulowaną temperaturę w poszczególnych pomieszczeniach i są kontrolowane poprzez inteligentne sterowanie (BMS – *buiding management system*) [15].

### 3.15. Żywiec (woj. śląskie)

W 2003 roku w Specjalnym Ośrodku Szkolno-Wychowawczym w Żywcu zamontowano pierwszą na terenie powiatu żywieckiego pompę ciepła. W budynku przeprowadzono kompleksową termomodernizację oraz wymianę kotłów opalanych koksem na 4 pompy ciepła „VATRA” 51S/2A1 typu glikol-woda,

o mocy 51,45 kW każda z kolektorem poziomym. Poziomy kolektor gruntowy składa się z czterech węzownic: rur polietylenowych o  $\varnothing$  63 x 3,8 mm o łącznej długości wraz z przyłączami 10 834 m, ułożonych na głębokości 1,4–1,5 m, wypełnionych płynem o obniżonej temperaturze krzepnięcia (30%-owy wodny roztwór glikolu). W zasadniczej części kolektor zlokalizowany został pod powierzchnią boiska sportowego, co nie zmieniło sposobu zagospodarowania. Ciepła woda użytkowa gromadzona jest w dwóch zasobnikach o pojemności 1000 dm<sup>3</sup> każdy [9, 11].

Z kolei, produkcja energii i ciepła w Oczyszczalni Ścieków w Żywcu jest przykładem „małej kogeneracji”. Powstający podczas procesu fermentacji metanowej biogaz magazynowany jest w zbiorniku gazu. Zainstalowany agregat prądowórczy Vitobloc FG114 firmy Viessmann wykorzystuje biogaz do wytwarzania energii elektrycznej (max 109 kW) i ciepła (max 186 kW). Dodatkową ilość ciepła potrzebną do ogrzania obiektów socjalnych uzyskuje się ze ścieków poprzez dwie pompy ciepła Cetus 80R. Urządzenia zainstalowane są w pompowni ścieków. W okresie letnim dolny wymiennik pompy ciepła wykorzystuje się do chłodzenia agregatu prądowórczego przez oddawanie nadmiaru ciepła do przepływających przez oczyszczalnię ścieków [11, 16].

Tabela 8. Ograniczenie emisji zanieczyszczeń w Oczyszczalni Ścieków w Żywcu [16]

Rodzaj zanieczyszczenia	Jednostkowe ograniczenie emisji [kg/(MWh·rok)]	Roczne ograniczenie emisji [kg/rok]
SO <sub>2</sub>	7,8	5726
NO <sub>2</sub>	3,2	2349
CO	0,2	147
CO <sub>2</sub>	937	578880
Pyły	1,1	808

Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii: biogazu i ciepła zawartego w ściekach do produkcji energii elektrycznej i ciepła było możliwe dzięki wygranemu przez MPWiK Żywiec konkursu „Nasza Gmina chroni klimat” w roku 2000. Uzyskane w ten sposób rekomendacje do 30%-owego finansowego wsparcia projektu przez EKOFUNDUSZ oraz pożyczki udzielonej przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Katowicach pozwoliły na realizację tej szczególnej inwestycji [17].

## 4. Opis ankiet

Pod koniec maja 2010 r. autorzy wysłali ponad 350 ankiet do firm zajmujących się produkcją i/lub montażem pomp ciepła (Załącznik 1), jak również do odbiorców indywidualnych (Załącznik 2).

### 4.1. Analiza ankiet „Pompy ciepła” – firmy

Firmy, które obecnie zajmują się produkcją i/lub montażem pomp ciepła w Polsce, wbrew pozorom, nie są jednostkami młodymi. Większość z nich powstała w latach 90-tych XX wieku, ale dopiero w ostatnich latach posiadają w swojej ofercie zakup/montaż pomp ciepła. Firmy zagraniczne mogą pochwalić się 30-40-letnim stażem.

Respondenci podają, że przyczynami podjęcia działalności na rynku pomp ciepła było:

- szansa na szybki rozwój firmy,
- stopniowy wzrost zainteresowania odnawialnymi źródłami energii,
- stworzenie kompletnej oferty, poczynając od źródła ciepła, a na urządzeniach finalnych kończąc,
- korzyści finansowe,
- ogłoszenie Ustawy z dnia 2 lipca 2004 r. o swobodzie działalności gospodarczej [Ustawa z dnia 2 lipca 2004 r. o swobodzie działalności gospodarczej [18], Dz.U. 2004 nr 173 poz. 1807], umożliwiającej szerszą działalność gospodarczą,
- zmiana profilu firmy – podjęcie nowych technologii,
- odpowiedź na zapotrzebowanie rynku na dobrej jakości urządzenia grzewcze,
- zapotrzebowanie rynku na kompleksowe usługi instalacyjne: hydrauliczne i elektryczne, oraz
- doświadczenie zdobyte za granicą.

Firmy posiadają w swojej ofercie szerokie spektrum pomp ciepła; najczęściej montowane są pompy sprężarkowe: solanka-woda, woda-woda, woda-powietrze, powietrze-powietrze. Oferta ta z każdym rokiem jest bogatsza.

W zdecydowanej większości, firmy nie chciały zdradzić ile pomp ciepła sprzedały/zamontowały w ostatnim roku zasłaniając się tajemnicą handlową. Te firmy, które podały, sprzedały/zamontowały odpowiednio: 6, 13, 52, 200 i 550 sztuk w 2009 r., uzyskując 10-50% wzrost w stosunku do poprzedniego roku. Jednocześnie 2/3 firm nie jest zadowolonych z obrotów.

Firmy oceniają rynek pomp ciepła na poziomie:

- do 2000 sztuk rocznie – 10%,

- 2000–4000 sztuk rocznie – 10%,
- 4000–6000 sztuk rocznie – 50%,
- powyżej 6000 sztuk rocznie – 20%.
- brak rozeznania – 10%.

Respondenci wskazują na liczne problemy związane ze sprzedażą pomp ciepła w Polsce:

- promocja energii z nieodnawialnych źródeł, a z tym wiąże się ignorancja organów administracji państwowej, bardzo skomplikowane procedury prawne, brak jasnych uregulowań prawnych, brak dotacji,
- ograniczona wiedza inwestorów, projektantów i instalatorów,
- brak rzetelnych firm instalatorskich,
- brak kompleksowej informacji w formie dostępnej dla przeciętnego użytkownika na temat pomp ciepła, większość z nich jest „wyedukowana” na materiałach promocyjnych,
- niska świadomość decydentów i społeczeństwa,
- nierzetelne oferty.

Problemy związane z instalowaniem pomp ciepła to:

- montaż bez nadzoru producenta,
- negatywna opinia klientów oparta na pracy instalacji błędnie wykonanych,
- niejasne wymagania prawne, brak systemu certyfikacji instalatorów i urządzeń, brak materiałów edukacyjnych dla instalatorów, projektantów, użytkowników,
- kłopoty wielu inwestorów z uzyskaniem pozwolenia na wykonanie sond (kolektorów pionowych) o głębokości ponad 30 m – utrudnia to wykonanie montażu,
- brak szkoleń dla monterów, brak doświadczonej kadry, ograniczony dostęp do wiedzy i doświadczeń innych osób.

W planach rozwojowych firmy mają istotny udział m.in.:

- uruchomienie usługi pomiaru przewodności cieplnej gruntu do potrzeb projektowania pól sond geotermalnych,
- rozszerzenie działalności w zakresie budowy nowoczesnych domów z pompami ciepła,
- nowe produkty, szkolenia kadry,
- prowadzenie prac badawczych w zakresie optymalizacji procesu ogrzewania i/lub chłodzenia,
- doskonalenie wyrobu (pompy ciepła),
- rozwój oferty pod kątem systemów grzewczych, w szczególności z wykorzystaniem OZE
- utrzymanie silnej pozycji w branży pomp ciepła oraz
- poszerzenie zakresu usług, sterowanie domów „inteligentnych”.

Niektóre firmy przestrzegają przyszłych odbiorców pomp ciepła przed nierzetelnymi odbiorcami. Zacytujemy tu jedną z ankiet: „...na polskim rynku istnieje wielu niekompetentnych wykonawców, wśród nich są: artyści-malarze, sportowcy – ludzie nie znający podstawowych zagadnień technicznych...”

#### 4.2. Analiza ankiet „Pompy ciepła” – odbiorcy

Około 10% respondentów zainstalowało pompy ciepła przed 2000 r., 30% w latach 2000–2005, pozostali po 2005 r. Są to pompy renomowanych firm, przeważnie sprężarkowe: solanka-woda, woda-woda, woda-powietrze. Właściciel najdłużej pracującej pompy (od 1996 r.) posiada pompę PCT-24 (Zakłady Mechaniczne Tarnów).

Respondenci, w zależności od ilości i rodzaju pomp, oraz prowadzonej modernizacji systemu ogrzewania podają, że koszt instalacji mieścił się w zakresie 9000 a 7000000 PLN (przeważnie 40000–60000 PLN). Około 15% respondentów miało trudności z określeniem kosztów związanych z założeniem pompy ciepła – samorealizacja, własne, innowacyjne pomysły. Źródło/źródła finansowania inwestycji to:

- środki własne
- środki Banku Ochrony Środowiska,
- kredyty bankowe,
- kredyt u Krajowego Funduszu Mieszkaniowego,
- pożyczki preferencyjnej WFOŚiGW,
- środki NFOŚiGW.

Respondenci posiadają różne dolne źródła ciepła: grunt (najczęściej), jezioro, woda z wodociągów, powietrze. Górne źródło ciepła to: kaloryfery, instalacja ogrzewania podłogowego, ciepła woda użytkowa, basen, klimakonwektory. Połowa respondentów podaje, że pompa/y pracuje sama, w pozostałych przypadkach pompa współpracuje z kolektorem słonecznym (najczęściej) lub piecem na drewno bądź kotłem gazowym.

Niemal wszyscy respondenci są zadowoleni z pompy ciepła. Właściciel najdłużej pracującej pompy ciepła (od 1996 r.) podkreśla, iż pracuje ona bezawaryjnie od 14 lat.

Większość respondentów nie wskazała problemów przy montażu pomp ciepła, pozostali podają następujące trudności:

- osuwająca się ziemia w wykopie,
- problemy z montażem pompy,
- mało znane inwestorom wymagania dotyczące wprowadzania do gruntu glikolu,
- brak dostatecznej liczby wykonawców,

- brak dofinansowania inwestycji.

Podobnie, jak z instalowaniem pomp tak i z funkcjonowaniem pomp w większości przypadków nie ma problemów. Jeśli się pojawiają, są to:

- wysokie opłaty za energię elektryczną,
- gwałtowny wzrost cen materiałów, np. glikolu,
- utrudniony dostęp do serwisu, oraz
- usterki techniczne.

Respondenci przeważnie nie wiedzą jaki jest rynek pomp ciepła w Polsce, określają go jako „duży”, „rozwojowy”. Jeśli padają już konkretne liczby, to są one niższe niż w przypadku Ankiety dla firm – na poziomie 2000 sztuk rocznie. Jeden z respondentów podał, że obecnie w Polsce zainstalowanych jest 58000 pomp ciepła.

Około 20% respondentów planuje w przyszłości montaż pomp ciepła, w większości jest to niepotrzebne, gdyż aktualnie pracująca pompa całkowicie pokrywa zapotrzebowanie na ciepło. Respondenci zwracają szczególną uwagę na bezawaryjność pomp ciepła i niewielkie potrzeby konserwatorskie. Podkreślają również, że jest to nadal dosyć droga inwestycja, o długim okresie zwrotu. Przestrzegają chcących zakupić pompę przed niepewnymi, mało doświadczonymi firmami.

## 5. Literatura

1. <http://www.pompaciepla.org> (wejście 09.10.10.).
2. B.J. Grochal, *Rynek pomp ciepła w Polsce, materiały seminarium „Branża instalacyjno-grzewcza w Polsce – 2009 i co dalej?*, Międzynarodowe Targi Instalacyjne – INSTALACJE 2010, 26–29.04.2010 Poznań.
3. M. Smuczyńska, *Grunt, woda czy powietrze? Optymalny wybór pompy ciepła (1)*, Magazyn Instalatora 7–8(143–144), 40–42, lipiec/sierpień 2010.
4. M. Smuczyńska, *Grunt, woda czy powietrze? Optymalny wybór pompy ciepła (2)*, Magazyn Instalatora 9(145), 32–34, wrzesień 2010.
5. M. Smuczyńska, *Grunt, woda czy powietrze? Optymalny wybór pompy ciepła (3)*, Magazyn Instalatora 11(147), 33–35, listopad 2010.
6. J. Kowalak, *Wykorzystanie pomp ciepła na potrzeby działalności Ośrodka Aktywności Lokalnej „Zaulek Benowo” w Benowie*, materiały firmy Eko-Inicjatywa.
7. <http://www.benowo.pl> (wejście 20.11.10.).
8. *Kosztorys ofertowy na wykonanie maszynowni pomp ciepła, przyłącza energetycznego, instalacji solarnej do zasilania c.w.u. i uzupełnienia ciepła dolnego źródła*, opr. PBP „Izogaz” sp. z o.o., Kwidzyn 2007.
9. <http://www.pnec.org.pl> (wejście 22.10.10.).
10. <http://www.pckp.webpark.pl> (wejście 19.11.10.).
11. <http://www.eo.org.pl> (wejście 24.07.10.).
12. [http://www.silesia.org.pl/upload\\_oze/W.Mielus\\_4.pdf](http://www.silesia.org.pl/upload_oze/W.Mielus_4.pdf) (wejście 16.11.10.).

13. <http://www.kurierslupski.pl> (wejście 16.11.10.).
14. Materiały przekazane przez firmę NIBE-BIAWAR Sp.z o.o., Al. Jana Pawła II 57, 15-703 Białystok
15. M. Mika, *Hotel Bulwar. Pompy ciepła kluczem do oszczędności i komfortu*, GLOBE-energia 3, 2009.
16. S. Skrzypczak, *Doświadczenia eksploatacji agregatu kogeneracyjnego zasilanego biogazem*, Elektroenergetyka 2, 25–28, 2004.
17. <http://skrzypczak.pl/zywiec.html> (wejście 19.11.10.).
18. Dz.U. 2004 nr 173 poz. 1807.



## PODSUMOWANIE

Polska posiada duże zasoby energii geotermalnej do bezpośredniego wykorzystania, zwłaszcza w szeroko pojętym ciepłownictwie (ciepłownie geotermalne, pompy ciepła). Jednak pomimo perspektywicznej bazy zasobowej, dużego zainteresowania potencjalnych inwestorów i odbiorców, rozwój geotermii w Polsce napotyka na istotne bariery rozwoju:

- przepisy prawne i warunki finansowe nie sprzyjające inwestowaniu,
- skomplikowane i długie procedury prawne i administracyjne (co powoduje opóźnienia w uruchomianiu środków na inwestycje, spadek ich wartości, zniechęcenie inwestorów),
- liczne opłaty i podatki,
- brak wystarczających zachęt i instrumentów ekonomicznych,
- brak „zielonych certyfikatów” na ciepło geotermalne,
- wysokie koszty inwestycyjne, oraz
- brak wystarczającej wiedzy na temat geotermii.

Stajemy przed dużym wyzwaniem, ażeby sprostać w/w barierom. Chcąc chronić środowisko i nasze zdrowie, powinniśmy rozwijać energetykę odnawialną. Rozwój geoenergetyki, helioenergetyki, aeroenergetyki, hydroenergetyki oraz bioenergetyki pozwoli Polsce uniezależnić się energetycznie, jak również obniżyć cenę za ciepło i energię elektryczną dla odbiorców energii, czyli każdego z nas.



Nowa generacja gruntowych pomp ciepła NIBE zapewnia pełny komfort cieplny w ekonomiczny i przyjazny dla środowiska sposób.

## NIBE™ F1145 | NIBE™ F1245

- Jeszcze wyższa sprawność
- Prosta instalacja i obsługa
- Unikalny, kolorowy wyświetlacz i intuicyjne menu sterowania
- Elegancki ponadczasowy design
- Wielofunkcyjność: ogrzewanie, chłodzenie, wentylacja, produkcja ciepłej wody
- Zdalne sterowanie GSM
- Aktualizacja oprogramowania przez port USB
- Niski poziom hałasu

**NOWOŚĆ**

Więcej informacji na stronie  
[www.biawar.com.pl](http://www.biawar.com.pl)

### **NIBE-BIAWAR Sp. z o.o.**

Al. Jana Pawła II 57, 15-703 Białystok  
tel. (085) 662-84-90, fax (085) 662-84-14  
e-mail: [pompyciepla@biawar.com.pl](mailto:pompyciepla@biawar.com.pl)  
infolinia: 0801 003 066 [www.biawar.com.pl](http://www.biawar.com.pl)



# Ekologia

## z ludźmi i dla ludzi



STOWARZYSZENIE  
Eko Inicjatywa

**Stowarzyszenie Eko-Inicjatywa ...ekologia z ludźmi i dla ludzi...** to misja naszej działalności. Wierząc w mądrość ludzi, uruchamiamy mechanizmy społeczne, podejmując działania służące rozwojowi lokalnemu w zgodzie z ideą zrównoważonego rozwoju.

Stowarzyszenie Eko-Inicjatywa to organizacja pozarządowa działająca w obszarze edukacji ekologicznej, ochrony przyrody i animacji społecznej. Od 10 lat staramy się odpowiadać na potrzeby aktywnych obywateli, chcących wdrażać projekty społeczno-ekologiczne. Praktyka tych lat pokazała, że wiele może osiągnąć grupa ludzi oddanych idei ochrony środowiska, profesjonalnie przygotowanych do działania „z ludźmi i dla ludzi”. Początki działalności Eko-Inicjatywy to niewielkie projekty edukacyjne skierowane do dzieci z Kwidzyna. Od początków działalności Stowarzyszenie rozwijało się m.in. w kierunku animacji społeczno-ekologicznej terenów wiejskich. Stowarzyszenie doświadczenia w dziedzinie edukacji dla zrównoważonego rozwoju zdobyło m.in. poprzez realizację projektów dot. wykorzystania biomasy wierzb krzewiastych jako alternatywnego źródła energii, prowadzeniu warsztatów ekologicznych w kwidzyńskich szkołach i współpracy z kwidzyńskimi nauczycielami. Od 5 lat realizowany jest kompleksowy program edukacji nieformalnej *Edukacja ekologiczna mieszkańców Kwidzyna* dzięki któremu wdrażane są założenia Agendy 21 Strategia Zrównoważonego Rozwoju dla miasta Kwidzyna w obszarach związanych z edukacją ekologiczną.

W siedzibie na Miłosnej prowadzone są zajęcia przyrodnicze *Zielona Klasa*, warsztaty papieru czerpanego, zajęcia plastyczne. **Korzystamy tu również z kolektora słonecznego wykonanego własnoręcznie przez uczestników jednego ze szkoleń, do oświetlenia zasad wykorzystywania energii słonecznej. Kolektor służy do podgrzewania bieżącej wody wykorzystywanej min. w trakcie warsztatów czerpania papieru.** Przy realizacji swojej misji kierujemy się zasadami partnerstwa. Dzięki temu łączymy ekologię z wieloma dziedzinami życia. Na co dzień współpracujemy z ponad 50-cioma organizacjami, instytucjami, jednostkami samorządowymi, szkołami oraz małym i średnim biznesem.

Od 2006 roku Stowarzyszenie rozpoczęło działania związane z uruchomieniem ośrodka edukacji społeczno-przyrodniczej „Zaułek Benowo”, w wsi Benowo. Miejsce zaczęło spełniać rolę centrum aktywności lokalnej mieszkańców Benowa oraz Gminy Ryjewo. Ważną rolę ośrodka obok animacji społecznej jest promocja zrównoważonego rozwoju oraz edukacji przyrodniczej. W 2008 r. przeprowadziliśmy termomodernizację w ośrodku. Stara instalacja grzewcza została wymieniona. **Nowym źródłem zasilania jest nowoczesna pompa ciepła wraz z kolektorami słonecznymi. W oparciu o instalację są prowadzone zajęcia demonstracyjne dla dzieci i młodzieży oraz osób, które chcą zmieniać systemy ogrzewania na proekologiczne.**

Projekty międzynarodowe to również ważny obszar aktywności Stowarzyszenia. Mamy za sobą szereg działań we współpracy z organizacjami ze wschodu, min. z *Ekodefense* z Obwodu Kaliningradzkiego. Chcąc wychodzić naprzeciw nowoczesnym rozwiązaniom edukacyjnym pracujemy nad rozszerzeniem współpracy z organizacjami z Niemiec i Anglii. Przykładem może być rozpoczęta współpraca z partnerem niemieckim Landesjugendring Schleswig-Holstein przy działaniach służących promocji walorów przyrodniczo-turystycznych powiatu kwidzyńskiego.

Stowarzyszenie jest otwarte na potrzeby i pomysły społeczności lokalnych. Szczególnie zaprasza do współpracy młodzież, która może w stowarzyszeniu podjąć staż wolontariatski. W 2009 roku otrzymaliśmy akredytację organizacji goszczącej i wysyłającej wolontariuszy. Takie możliwości daje Program Młodzież Akcja 3 **Wolontariat Europejski** (European Voluntary Service – EVS)

**Stowarzyszenie posiada status organizacji pożytku publicznego. 1% podatku przeznaczamy na organizację akcji *Kwitnące Wakacje*.**

Stowarzyszenie Eko-Inicjatywa • KRS 0000005069 • Biuro w Kwidzynie • 82-500 Kwidzyn • ul. Miłosna 1  
tel./fax: 552612216 tel. 552613797 • www.ekokwidzyn.pl • sekretariat@ekokwidzyn.pl

Zaułek Benowo – ośrodek edukacji społeczno przyrodniczej • Benowo 57 • 82-420 Ryjewo  
tel./fax: 552771677 • www.benowo.pl • sekretariat@benowo.pl



# ZAŁĄCZNIK 1

## ANKIETA pompy ciepła (firmy)

1. Rok rozpoczęcia funkcjonowania firmy .....
2. Przyczyny podjęcia działalności na rynku .....
3. Jakie pompy ciepła Państwo sprzedajecie/montujecie?:  
.....
4. Ile pomp ciepła sprzedała/zainstalowała Państwa firma w 2009 r.?  
....., jak to ma się względem lat poprzednich?  
.....
5. Czy jesteście Państwo zadowoleni z obrotów firmy?: TAK  NIE
6. Na ile sztuk oceniają Państwo rynek pomp ciepła w Polsce?  
.....
7. Proszę wymienić najważniejsze problemy związane ze  
– sprzedażą pomp ciepła: .....
- zakładaniem pomp ciepła: .....
8. Proszę podać 2 obiekty referencyjne .....
9. Plany rozwojowe firmy .....
10. Inne uwagi/własne doświadczenia .....

W podziękowaniu za odesłanie ankiety, prześlemy Państwu nieodpłatny egzemplarz monografii.

*Dziękujemy*

# ZAŁĄCZNIK 1

## ANKIETA pompy ciepła (odbiorcy)

1. Rok założenia pompy/pomp ciepła .....
2. Rodzaj pompy/pomp zainstalowanej .....
3. Całkowity koszt instalacji .....
4. Źródła środków finansowych na realizację inwestycji .....
5. Co jest dolnym źródłem ciepła?  
.....
6. Co jest górnym źródłem ciepła?  
.....
7. Czy pompa/pompy ciepła współpracuje z innymi systemami grzewczymi?  
.....  
Jakimi? .....
8. Czy jesteście Państwo zadowoleni z pomp/pomp ciepła? TAK  NIE
9. Na ile sztuk oceniają Państwo rynek pomp ciepła w Polsce? .....
10. Proszę wymienić najważniejsze problemy związane z  
– zakładaniem pomp ciepła: .....
- funkcjonowaniem instalacji: .....
11. Czy Planują Państwo w najbliższym czasie założyć kolejne pompy ciepła?  
TAK  NIE
12. Inne uwagi/własne doświadczenia  
.....  
.....

W podziękowaniu za odesłanie ankiety, prześlemy Państwu nieodpłatny egzemplarz monografii.

*Dziękujemy*