



# Energetyka geotermalna

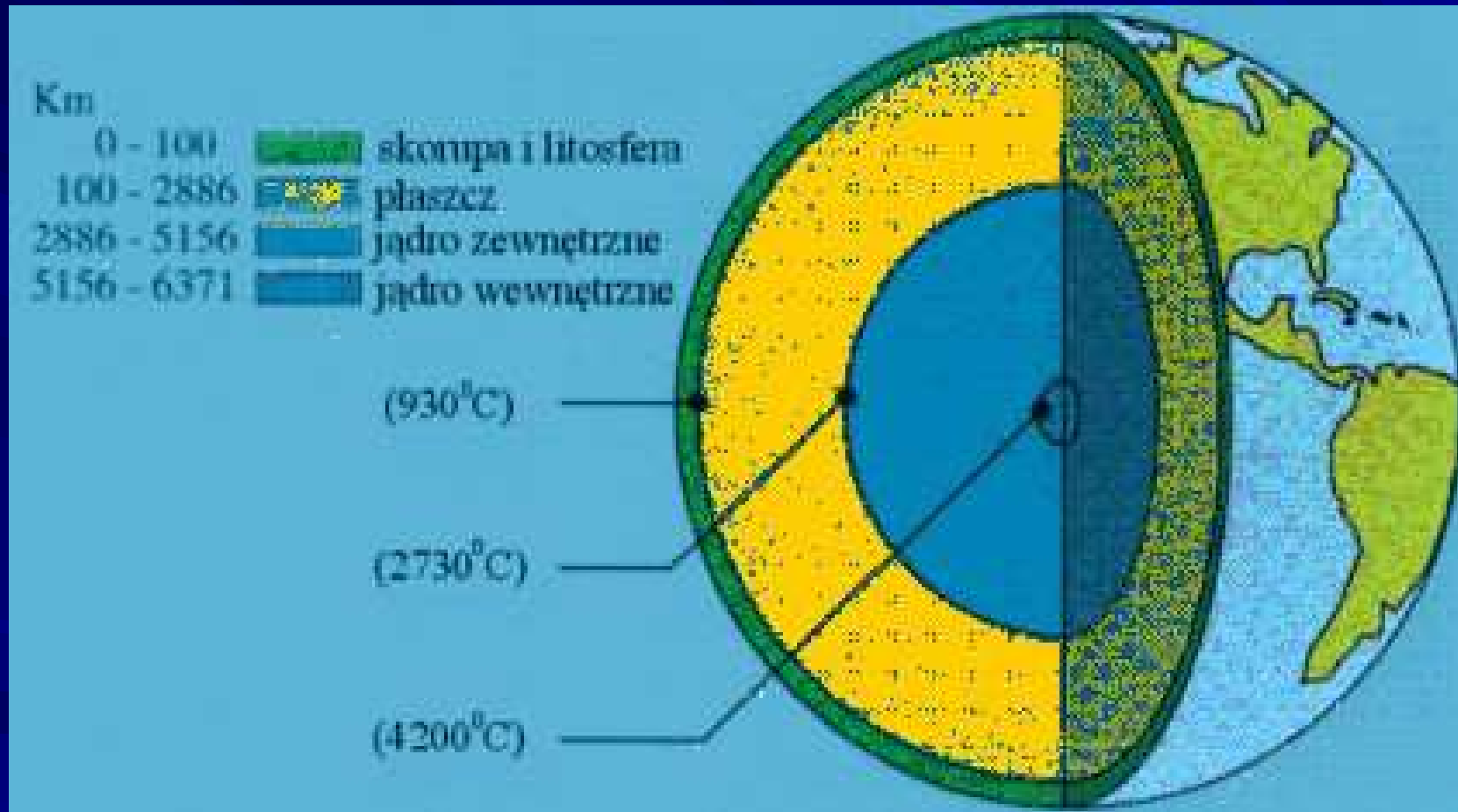
Opracowanie:

Prof. dr hab. inż. Jacek Zimny  
Mgr inż. Michał Karch

# Co to jest energia geotermiczna?

- Jest to energia zakumulowana w gruntach, skałach i płynach wypełniających pory i szczeliny skalne skorupy ziemskiej.
  - Gdy nośnikiem tej energii są płyny złożowe (para, woda) wtedy mówimy o energii geotermalnej.
  - Energia ta biorąc pod uwagę okres istnienia cywilizacji ludzkiej, jest praktycznie niewyczerpalna.

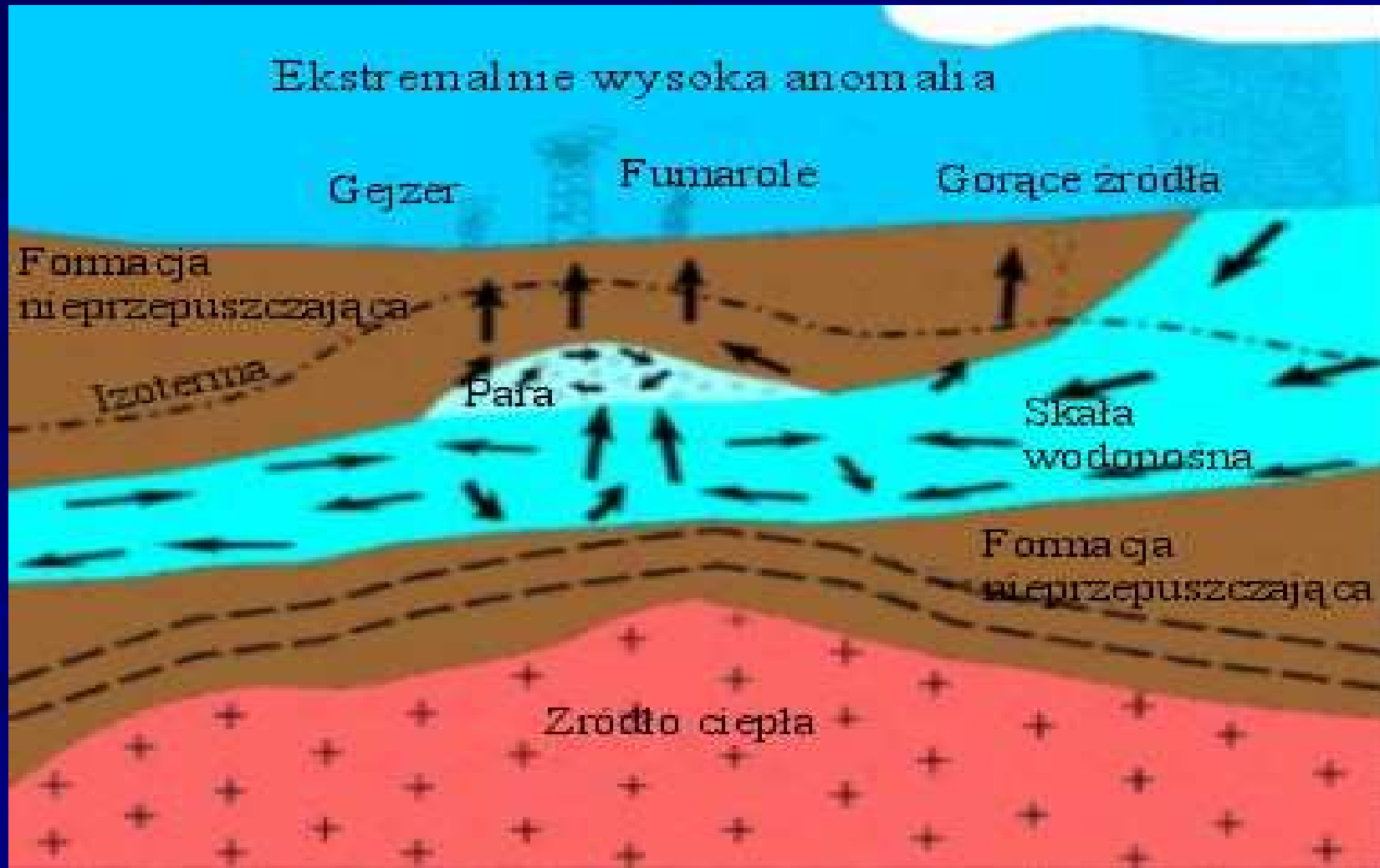
# Budowa Ziemi



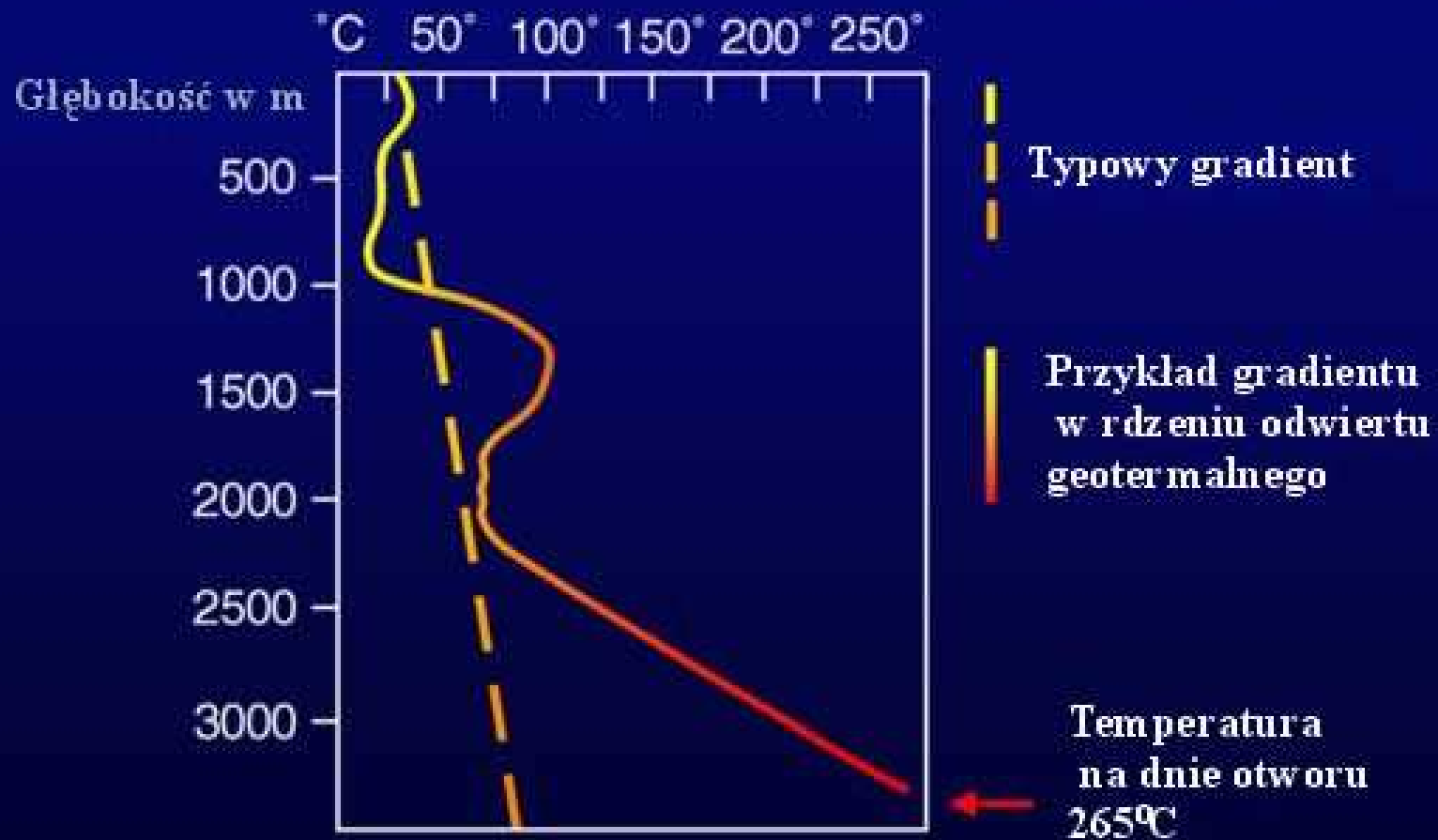
# Powstawanie systemów geotermalnych



# Schemat systemu geotermalnego z dominującym udziałem pary

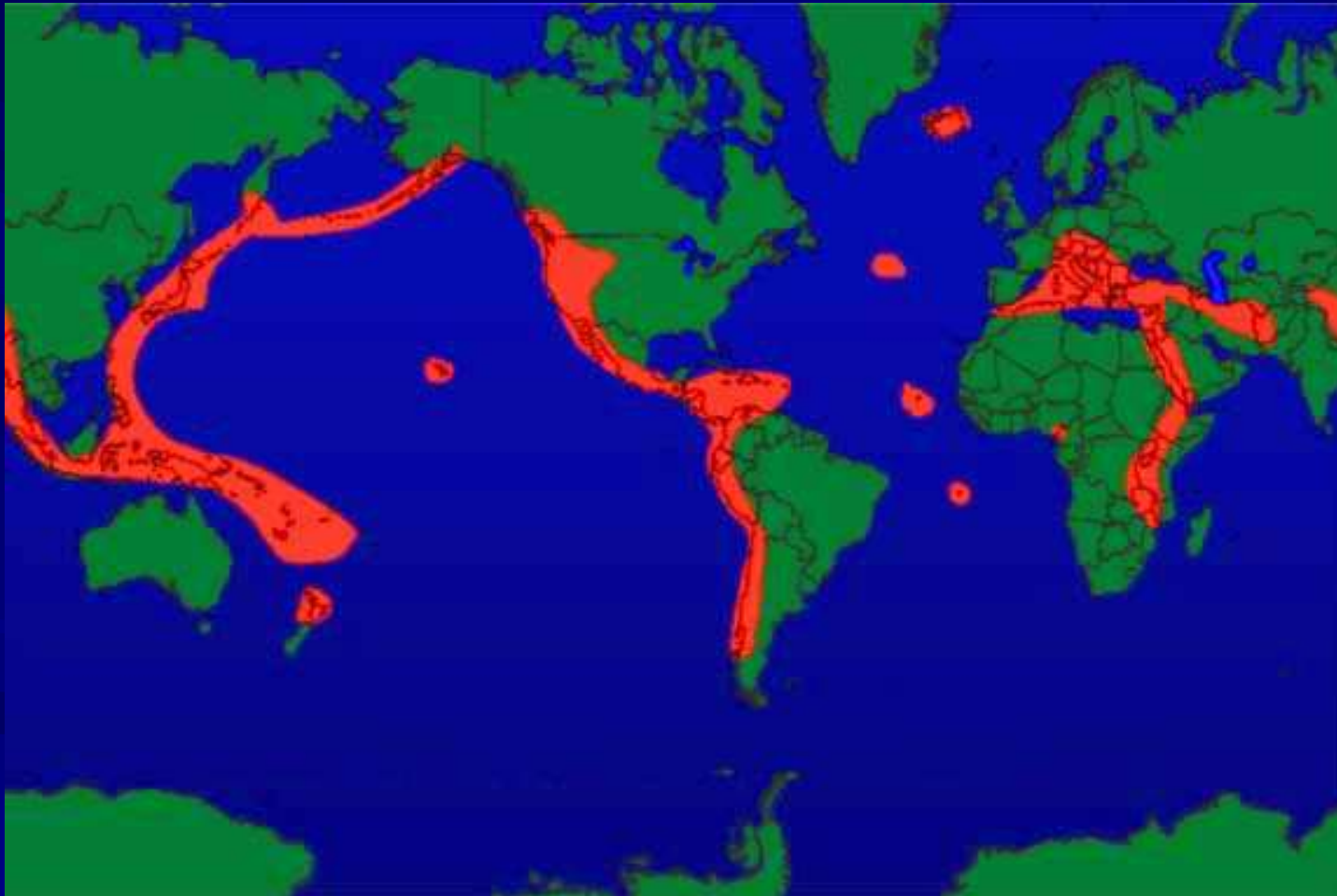


# Gradient temperatury





# Najgorętsze znane regiony geotermalne





Wulkan Kilauea  
Hawaje



# Przykłady osobliwości geotermalnych



Pasmo górskie Sierra Nevada



Fumarole na Filipinach



Od Greków pochodzi motto „zdrowie dzięki wodzie”.

Przejęte przez Rzymian jest znane jako „SPA” – „salus per aqua”

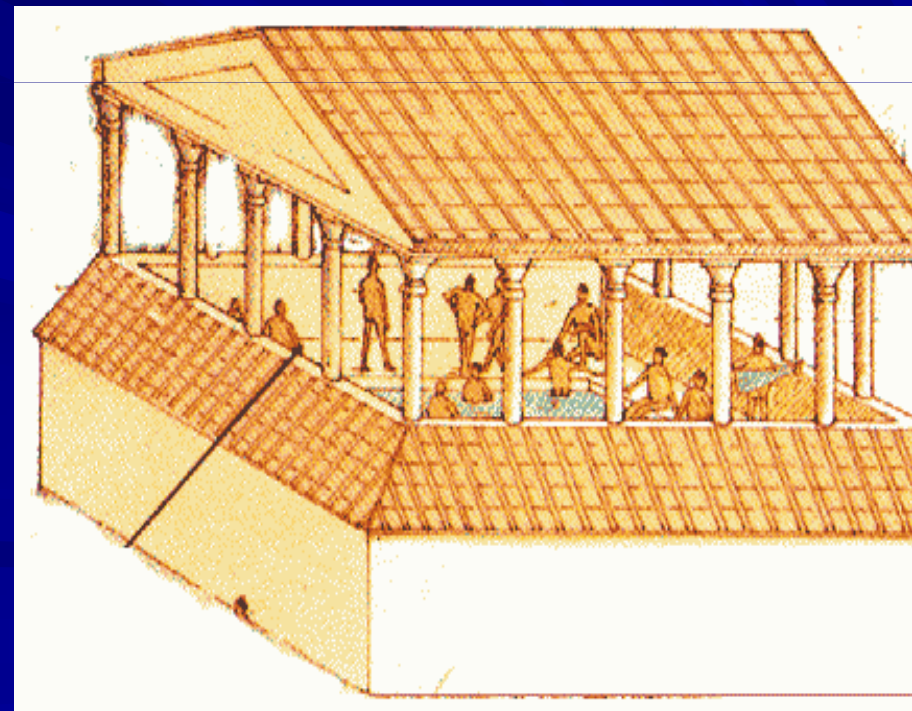
Źródła i zjawiska geotermalne w historii i mitach:

- Termopile
- Wyrocznia w Delfach

## GRECJA

Starożytna Grecja - kolebka rozwoju naukowych i praktycznych zasad geotermalnej balneoterapii (przyrodolecznictwa).

Z Grecji praktyki te rozszerzyły się w całym obszarze śródziemnomorskim i były przejmowane i rozwijane przez kolejne narody i cywilizacje.

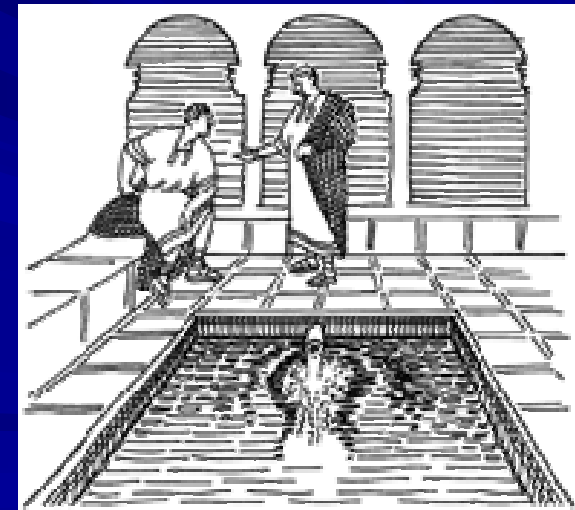




## RZYM

**II w. p. Chr. – początek rozwoju łaźni i term.  
W kulturze Starożytnego Rzymu utrzymanie  
higieny ciała przez częste kąpiele uważano  
za obowiązek obywatelski**

**Rzymianie wprowadzili termy i łaźnie do podbitych  
krajów swego imperium  
(kraje śródziemnomorskie, Europy północnej –  
Węgry, Wlk. Brytania, ...)**



# TURCJA – SPADKOBIERCZYNI RZYMSKICH TERM



**„Łaźnie tureckie”  
są wymieniane jako główna atrakcja  
turystyczna Turcji**

- Hierapolis (Pamukkale) - „święte miasto”,  
założone w II w. Przed Chr. przez Rzymian  
(świątynie, amfiteatr, łaźnie)





## YELLOWSTONE, USA, 1872

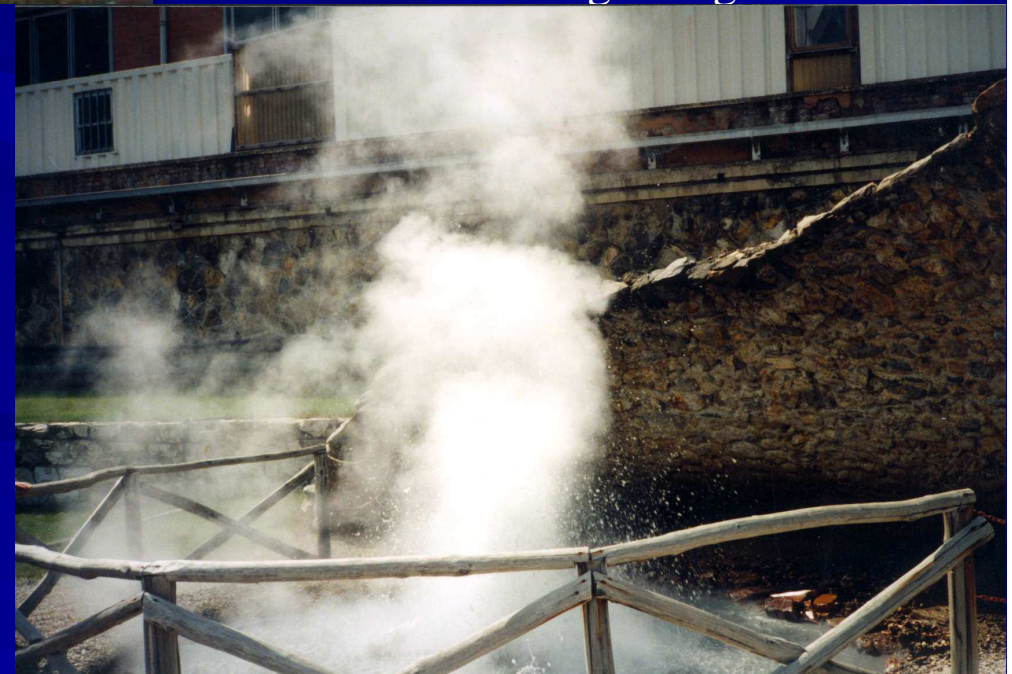
pierwszy park narodowy na świecie

Powołany w celu ochrony, zachowania i właściwego udostępnienia turystycznego obszaru gejzerów, gorących źródeł, fumaroli oraz innych zjawisk geotermalnych.

Światowy Rezerwat Biosfery  
i Dziedzictwa Geologicznego

## LARDERELLO, WŁOCHY

Z podobnych źródeł w tym regionie Etruskowie (1200 – 300 p. Chr.) - „ojcowie przemysłu geotermalnego” odzyskiwali boraks do wyrobu emalii  
W 1904 r. powstała tam pierwsza na świecie elektrownia geotermalna





# ISLANDIA

**Snorri Sturlosson**  
(„ojciec” literatury islandzkiej) - XV w. –  
doprowadzenie ciepłej wody ze źródła do  
basenu przydomowego



**Lata 1930-te – początek budowy sieci miejskiego geotermalnego c.o. w Reykjavíku, 1-sza szkoła z geotermalnym c.o. (1936 r.)**

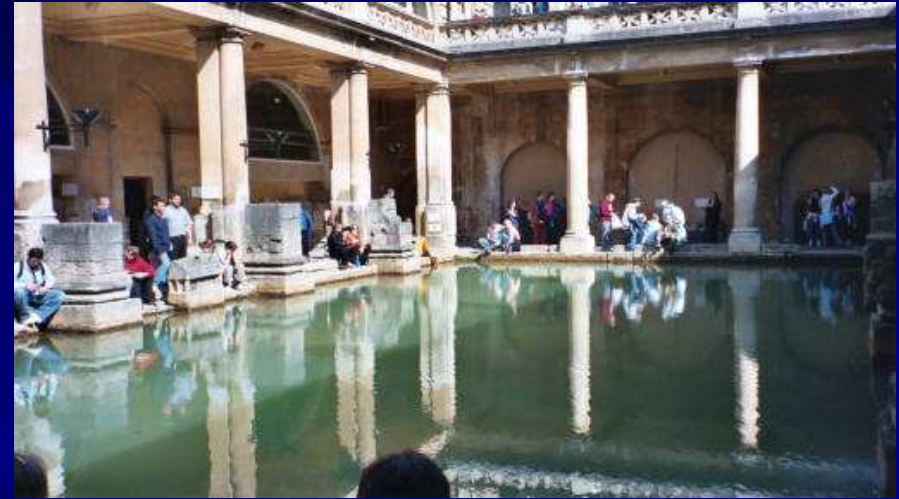
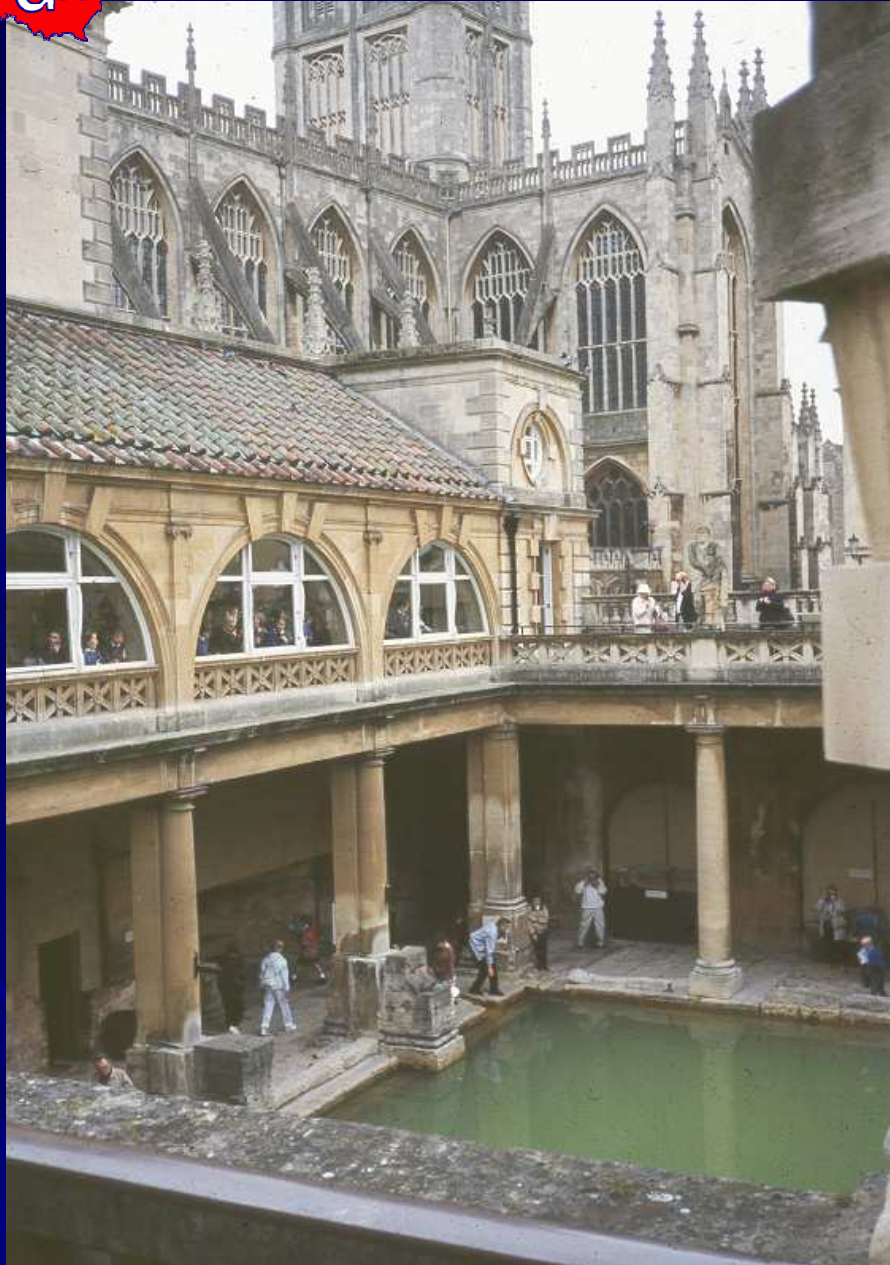


## WĘGRY



- Budapeszt - 128 źródeł i odwiertów z wodą geotermalną
- Ponad 40 geotermalnych kąpielisk i ośrodków rekreacyjnych
- Wysoka wartość architektoniczna wielu zachowanych łaźni i obiektów kąpielowych
- Bardzo zróżnicowana i atrakcyjna oferta turystyczna, międzynarodowa promocja





Pozostałości świetności  
kultury rzymskiej –  
łaźnie na terenie miasta  
**Bath w Anglii**



## ŚWIAT – WYKORZYSTANIE ENERGII GEOTERMALNEJ (2004)

(Lund J. et al. 2005, WGC Turcja 2005)

Sposób wykorzystania	Zainstalowana moc (MW <sub>t</sub> )	Produkcja ciepła (TJ/r)
Pompy ciepła	15 723	86 673
Centralne ogrzewanie	4 158	52 868
Ogrzewanie szklarni	1 348	19 607
Ogrzewanie stawów hodowlanych	616	10 969
Suszenie produktów rolnych	157	2 013
Zastosowania przemysłowe	489	11 068
Pływalnie, balneoterapia	4 911	75 289
Chłodzenie/topienie śniegu, lodu	338	1 885
Inne	86	1 045
Razem	27 825	261 418

Zastosowania bezpośrednie - 72 kraje, generacja elektryczności -24 kraje



## EUROPA – WYKORZYSTANIE ENERGII GEOTERMALNEJ (2000)

Kontynent	Zastosowania bezpośrednie			Generacja prądu elektrycznego		
	Zainstalowana moc $MW_t$	Produkcja całkowita		Zainstalowana moc $MW_e$	Produkcja całkowita	
		GWh/a	%		GWh/a	%
Afryka	125	504	1	54	397	1
Ameryki	4355	7270	14	3390	23 342	47
Azja	4608	24235	46	3095	17 510	35
<b>Europa</b>	<b>5714</b>	<b>18 905</b>	<b>35</b>	<b>998</b>	<b>5745</b>	<b>12</b>
Oceania	342	2065	4	437	2269	5
RAZEM	15 144	52 979	100	7974	49 263	100

- Zastosowania bezpośrednie - 28 krajów
- Generacja elektryczności - 8 krajów (6-z par geotermalnych, Austria, Niemcy – e. binarne)
- Kraje europejskie należą do czołówki światowej w zakresie bezpośrednich zastosowań - Islandia, Turcja, Rosja, Francja, Węgry, Szwecja, Włochy, Rumunia, Szwajcaria

# Moc zainstalowana w elektrowniach geotermalnych na świecie w latach 1990-2005



Kraj	1990 MWe	1995 MWe	2000 MWe	2005 MWe
USA	2774,6	2816,7	2228,0	2376,0
Filipiny	891,0	1227,0	1909,0	2673,0
Włochy	545,0	631,7	785,0	946,0
Meksyk	700,0	753,0	755,0	1080,0
Indonezja	144,8	309,8	589,5	1987,0
Japonia	214,6	413,7	546,9	567,0
Nowa Zelandia	283,2	286,0	437,0	437,0
Islandia	44,6	50,0	170,0	170,0
Salwador	95,0	105,0	161,0	200,0
Kostaryka	0,0	55,0	142,5	161,0
Nikaragua	35,0	70,0	70,0	145,0
Kenia	45,0	45,0	45,0	173,0
Gwatemala	0,0	33,4	33,4	33,4
Chiny	19,2	28,8	29,2	29,2
Rosja (Kamczatka)	11,0	11,0	23,0	125,0
Turcja	20,6	20,4	20,4	250,0
Portugalia (Azory)	3,0	5,0	16,0	45,0
Etiopia	0,0	0,0	8,5	8,5
Francja (Gwadelupa)	4,2	4,2	4,2	20,0
Tajlandia	0,3	0,3	0,3	0,3
Australia	0,0	0,2	0,2	0,2
Argentyna	0,7	0,7	0,0	0,0
<b>Razem</b>	<b>5831,8</b>	<b>6866,9</b>	<b>7974,1</b>	<b>11426,6</b>

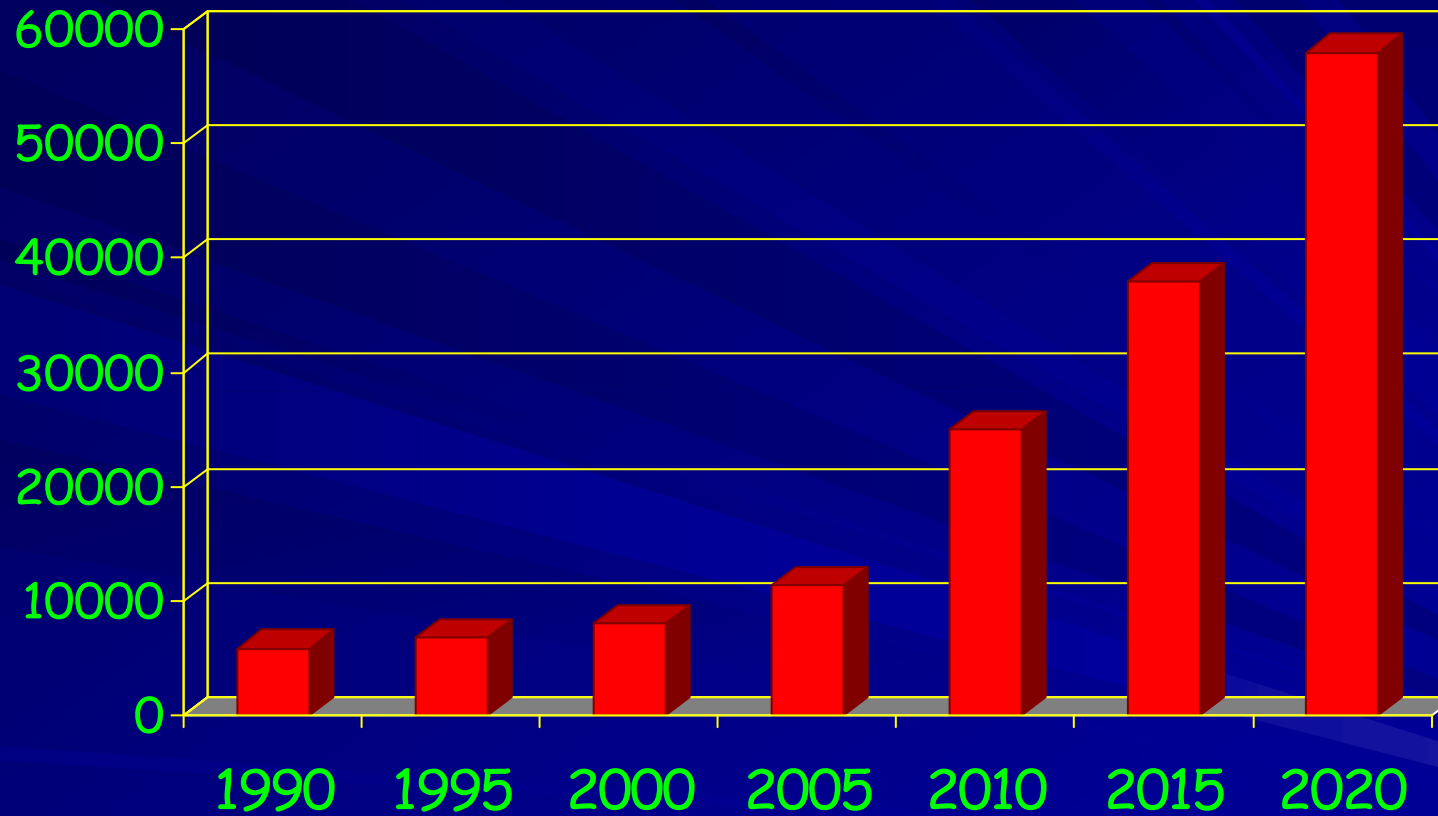


## Udział procentowy geotermalnej energii elektrycznej w rynku energii elektrycznej w wybranych krajach w roku 1996

Kraj	Całkowita zainstalowana moc elektryczna MWe	Zainstalowana geotermalna moc elektryczna MWe	Udział %
Nikaragua	457	70	15,3
Filipiny	8646	1227	14,2
Salwador	980	105	10,7
Kenia	809	45	5,6
Kostaryka	1165	60	5,2
Meksyk	44258	755	1,7
Indonezja	21312	375	1,7



# Szacowany wzrost mocy elektrowni geotermalnych na świecie do roku 2020



■ Moc zainstalowana w MW



# Kraje o największym planowanym wzroście mocy elektrowni geotermalnych

Kraj	2000 MWe	2005 MWe	Planowany przyrost mocy w % [3/2*100%]
1	2	3	4
Turcja	20,4	250,0	1225,5
Rosja (Kamczatka)	23,0	125,0	543,5
Francja (Gwadelupa)	4,2	20,0	476,2
Kenia	45,0	173,0	384,0
Indonezja	589,5	1987,0	337,1
Portugalia (Azory)	16,0	45,0	281,3
Nikaragua	70,0	145,0	207,0
Meksyk	755,0	1080,0	43,0
Filipiny	1909,0	2673,0	40,0
Salwador	161,0	200,0	24,0
Włochy	785,0	946,0	20,5
Kostaryka	142,5	161,0	13,0
USA	2228,0	2376,0	6,6
Japonia	546,9	567,0	3,7



# Koszty elektrowni geotermalnych

- Najniższe koszty wytworzenia 1kWh
- Brak kar finansowych za zanieczyszczanie środowiska
- Niskie koszty eksploatacyjne
- Nakłady inwestycyjne rzędu 1÷3,7mln \$ za 1MW mocy zainstalowanej



# Dane dotyczące energii elektrycznej produkowanej ze źródeł odnawialnych

	Produkcja energii w 1998r.		Moc zainstalowana na koniec 1998		Wykorzystanie mocy	Aktualny koszt energii	Potencjalny koszt energii w przyszłości	Koszty inwestycji (pod klucz)	Przyrost mocy zainstalowanej w ciągu ostatnich 5 lat
	TWh (e)	%	GW (e)	%	%	USc/kWh	USc/kWh	US\$/kW	%/rok
Wodna	2600	92,0	663	91,8	20-70	2-10	2-8	1000-4000	2
Biomasa	160	5,66	40	5,53	25-80	5-15	4-10	900-3000	3
<b>Geotermia</b>	<b>46</b>	<b>1,63</b>	<b>8</b>	<b>1,11</b>	<b>45-90</b>	<b>2-10</b>	<b>1-8</b>	<b>800-3000</b>	<b>4</b>
Wiatr	18	0,64	10	1,38	20-30	5-13	3-10	1100-1700	30
Słońce	1,5	0,05	0,9	0,12	8-35	12-125	4-25	3000-10000	35
Energia pływów	0,6	0,02	0,3	0,04	20-30	8-15	8-15	1700-2500	0
Suma	2826,1		722,2						

# Energia elektryczna z 4 odnawialnych źródeł (1998r.)

	Moc zainstalowana		Produkcja na rok	
	GWe	%	TWh/rok	%
<b>Geotermia</b>	<b>8</b>	<b>41,7</b>	<b>46</b>	<b>69,6</b>
<b>Wiatr</b>	<b>10</b>	<b>52,1</b>	<b>18</b>	<b>27,2</b>
<b>Słońce</b>	<b>0,9</b>	<b>4,7</b>	<b>1,5</b>	<b>2,3</b>
<b>Pływy</b>	<b>0,3</b>	<b>1,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,9</b>
<b>Suma</b>	<b>19,2</b>	<b>100</b>	<b>66,1</b>	<b>100</b>



# Dane dotyczące energii cieplnej produkowanej ze źródeł odnawialnych

	Produkcja energii w 1998r. TWh(e)	Moc zainstalowana na koniec 1998 GWe	Wykorzystanie mocy %	Aktualny koszt energii USc/kWh	Potencjalny koszt energii w przyszłości USc/kWh	Koszty inwestycji (pod klucz) US\$/kWh	Przyrost mocy zainstalowanej w ciągu ostatnich 5 lat %/rok
Biomasa	>700	>200	25-80	1-5	1-5	250-750	3
Geotermia	40	11	20-70	0,5-5	0,5-5	200- 2000	6
Słońce (ogrzewanie niskotemp.)	14	18	8-20	3-20	2-10	500-1700	8



# Koszt jednostkowy mocy elektrycznej (USc/kWh)

	Koszt (US c/kWh) Źródło wysokotemperaturowe	Koszt (US c/kWh) Źródło średniotemperaturowe	Koszt (US c/kWh) Źródło niskotemperaturowe
Małe elektrownie (<5 MW)	5.0-7.0	5.5-8.5	6.0-10.5
Średnie elektrownie (5-30 MW)	4.0-6.0	4.5-7	Nie stosowane
Duże elektrownie (>30 MW)	2.5-5.0	4.0-6.0	Nie stosowane



# Koszty budowy elektrowni geotermalnych (US\$/kW mocy zainstalowanej)

Wielkość elektrowni	Źródło wysokotemperaturowe	Źródło średniotemperaturowe	Źródło niskotemperaturowe
<b>Małe elektrownie (&lt;5 MW)</b>	Badania: US\$400-800 Para: US\$100-200 Elektrownia: US\$1100-1300 <b>Łącznie: US\$1600-2300</b>	Badania: US\$400-1000 Para: US\$300-600 Elektrownia: US\$1100-1400 <b>Łącznie: US\$1800-3000</b>	Badania: US\$400-1000 Para: US\$500-900 Elektrownia: US\$1100-1800 <b>Łącznie: US\$2000-3700</b>
<b>Średnie elektrownie (5-30 MW)</b>	Badania: US\$250-400 Para: US\$200-US\$500 Elektrownia: US\$850-1200 <b>Łącznie: US\$1300-2100</b>	Badania: US\$250-600 Para: US\$400-700 Elektrownia: US\$950-1200 <b>Łącznie: US\$1600-2500</b>	Nie stosowane
<b>Duże elektrownie (&gt;30 MW)</b>	Badania: US\$100-200 Para: US\$300-450 Elektrownia: US\$750-1100 <b>Łącznie: US\$1150-1750</b>	Badania: US\$100-400 Para: US\$400-700 Elektrownia: US\$850-1100 <b>Łącznie: US\$1350-2200</b>	Nie stosowane

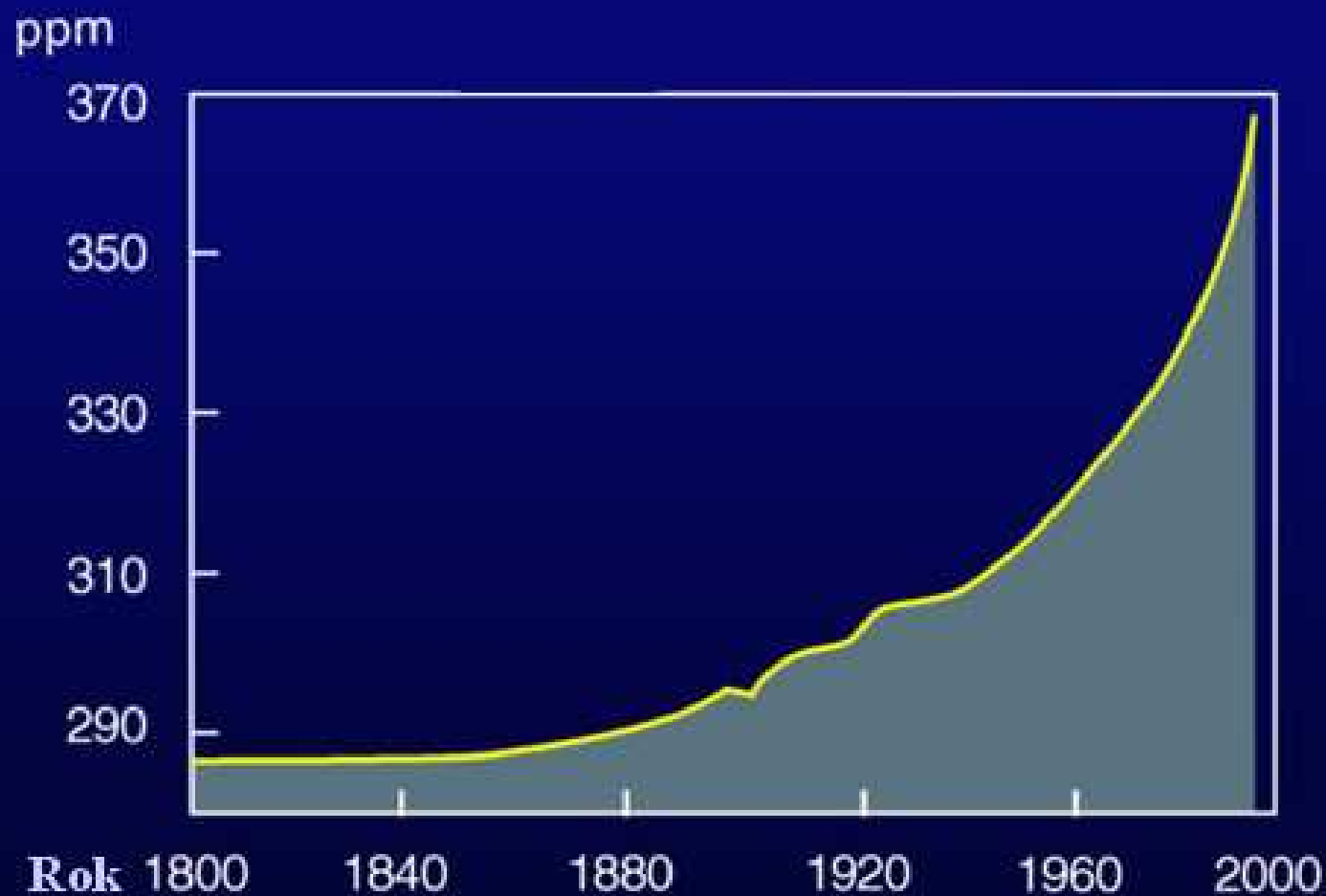
# Geoenergetyka a środowisko

- Brak spalania
- Brak degradacji krajobrazu
- Energia odnawialna

- Emisja gazów zawartych w geopłynie (układy otwarte)



# Wzrost zawartości CO<sub>2</sub> w atmosferze



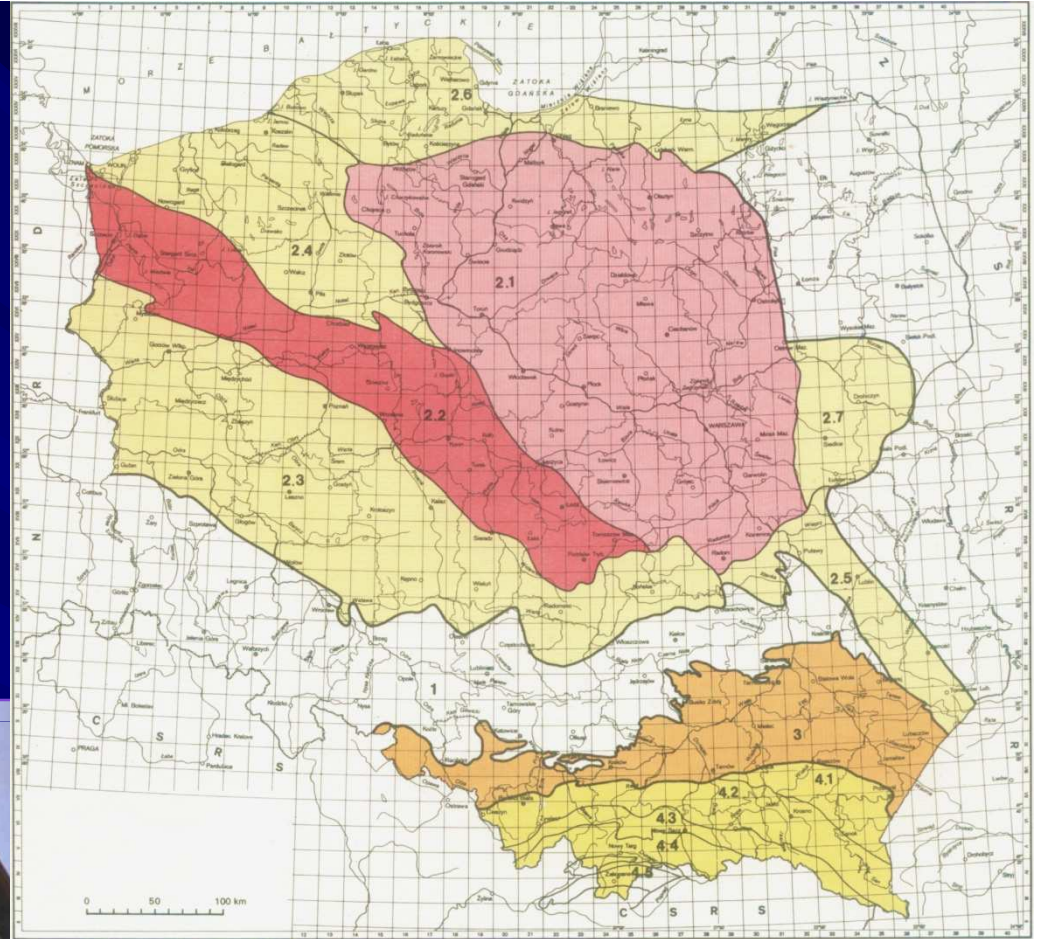


# Ograniczenie zanieczyszczeń dla 5 wariantów $\Delta t$ wody geotermalnej wg Prof. J. Sokołowskiego

Rodzaj zanieczyszczeń	Wariant I $\Delta t=110^{\circ}\text{C}-70^{\circ}\text{C}-40^{\circ}\text{C}$	Wariant II $\Delta t=110^{\circ}\text{C}-60^{\circ}\text{C}-50^{\circ}\text{C}$	Wariant III $\Delta t=110^{\circ}\text{C}-50^{\circ}\text{C}-60^{\circ}\text{C}$	Wariant IV $\Delta t=110^{\circ}\text{C}-40^{\circ}\text{C}-70^{\circ}\text{C}$	Wariant V $\Delta t=110^{\circ}\text{C}-30^{\circ}\text{C}-80^{\circ}\text{C}$
	Ilość spalonego węgla [t/rok]				
	10 001	12 519	15 001	17 520	20 038
	Ilość wyemitowanych zanieczyszczeń [t/rok]				
SO <sub>2</sub>	30,00	37,55	45,00	52,56	60,11
NO <sub>2</sub>	20,00	25,04	30,00	35,04	40,07
CO	20,00	25,04	30,00	35,04	40,07
Benzo-a-piren (kg)	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
CO <sub>2</sub>	14 201,42	17 777,69	21 302,13	24 878,40	28 454,67
Pył	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00
<b>Łącznie</b>	<b>14 275,42</b>	<b>17 870,69</b>	<b>21 413,13</b>	<b>25 008,04</b>	<b>28 602,92</b>
Oплата za zanieczyszczanie środowiska	21 002,00	26 291,00	31 503,00	36 792,00	42 081,00



# POLSKA





# WYKORZYSTANIE ENERGII GEOTERMALNEJ W POLSCE

- Balneoterapia:
  - 7 uzdrowisk (najstarsze: Łądek, Cieplice, 13-14 wiek)
- C.o. i inne zastosowania:
  - 5 ciepłowni geotermalnych
  - 1 ciepłownia w trakcie rozruchu
- Stosowanie „geotermalnych” pomp ciepła (powolny rozwój) – ok. 8000 instalacji (woda gruntowa lub grunt jako dolne źródło ciepła)
- Zainstalowana moc: ok. 170,8 MW<sub>t</sub> (w tym ok. 162,6 MW<sub>t</sub> – c.o.)
- Produkcja ciepła: ca. 838,3 TJ/r (w tym 806,4 TJ - c.o.)



## POLSKA – WYKORZYSTANIE ENERGII GEOTERMALNEJ (2004)

(wg B. Kępińska, WGC Turcja 2005)

Sposób wykorzystania	Zainstalowana moc (MW <sub>t</sub> )	Produkcja ciepła (TJ/r)
Centralne ogrzewanie i c.w.u.*	82,8	306,5
Balneoterapia	6,8	26,9
Ogrzewanie szklarni, hodowla ryb ciepłolubnych, suszenie drewna	1,0	4,0
Inne – ekstrakcja soli mineralnych	0,3	1,0
Pompy ciepła	~ 80,0	~ 500
Razem	170,9	838,4

\* w tym 23,56 MWt i 74,4 TJ/r z absorpcyjnych pomp ciepła



# CIEPŁOWNICZE ZAKŁADY GEOTERMALNE W POLSCE, 2005 wg B. Kępińska

Zakład	Rok otwarcia	Skaly zbiornikowe, $T_{gf}$ , Mo	Moc zainstal. $MW_t$ geoterm./całk.	Produkcja ciepła, TJ/2004 geote. / całk.	Sposób pracy	Uwagi
Podhale	1992/93	Wapienie-dolomity, Trias / Eocen śr. 82- 86°C, Mo<3 g/l	41/ 78	187 / 247	Zintegrowany (geotermia + kotły gazowe)	W trakcie rozbudowy Docelowo ~ 600 TJ/r (plan z 2003 – 2004)
Pyrzyce	1996	Piaskowce Jura 61°C, Mo ~120 g/l	13 / 50	72 / 146	Zintegrowany (geotermia + pompy ciepła + kotły gazowe)	Ukończony
Mszczonów	1999	Piaskowce, Kreda 40°C, Mo~ 0,5 g/l	3,8 / 10,2	27 / 100	Zintegrowany (pompy ciepła + kotły gazowe)	Odwiert wykonany w latach 1970-tych zrekonstruowany do celów wydobywania wody geotermalnej (system 1-otworowy) Schłodzona woda do celów pitnych
Uniejów	2001	Piaskowce, Kreda 60°C, Mo ~ 5 g/l	3,2 / 5,6	15 / 20	Zintegrowany (geotermia + kotły gazowe)	W rozbudowie
Słomniki	2001	Piaskowce, Kreda 17°C, Mo ~ 0,4 g/l	0,3 / 2,3	0,25 /	Zintegrowany (pompy ciepła + kotły gazowe)	Płytki (~300 m ppt) poziom wodonośny, System 1 - otworowy Schłodzona woda do celów pitnych



# POMPY CIEPŁA, 2004

- **Absorpcyjne PC:**

Łącznie 23,56 MW<sub>t</sub> (Pyrzyce, Mszczonów, Słomniki)

- **Sprężarkowe PC – grunt i wody gruntowe jako dolne źródło ciepła:**

- ponad 8 000 instalacji: ~ 80 MW<sub>t</sub>, > 500 TJ/r

- **Razem: 103,56 MW<sub>t</sub>, > 574 TJ/r**



## PROJEKTY W TRAKCIE REALIZACJI

**Podhale: c.o., rekreacja (plany)**

**Stargard Szczeciński – 1 sezon pracy, 2005/6:**

**2 otwory (2672 m, 2960 m),**

**Wydajność 200 – 300 m<sup>3</sup>/h,  $T_w = 87^\circ\text{C}$**

**(piaskowce jury)**

**Planowana moc cieplna: 14 MW<sub>t</sub>.**

**Ciepło sprzedawane do węglowej ciepłowni miejskiej**

**(95 MW<sub>t</sub>), która rozprowadza go po mieście**



# Przykłady w Austrii

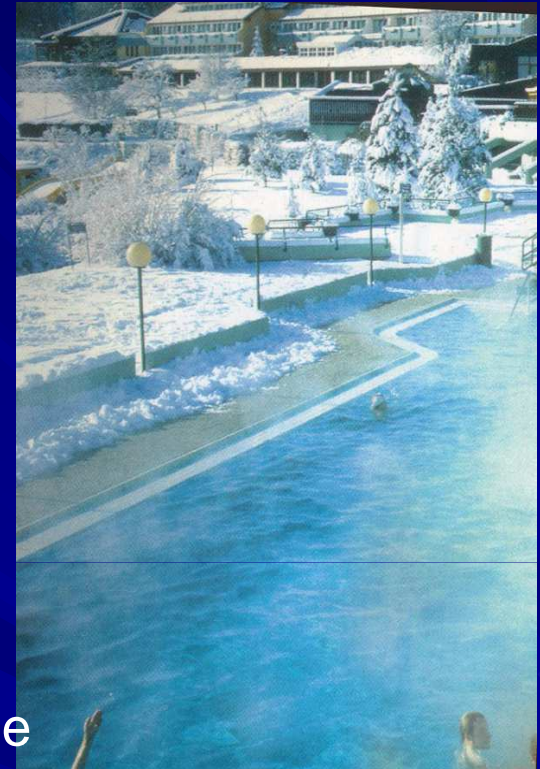
## Wpływ gospodarczy na region

Przykład:

Kąpielisko termalne: 1.500m<sup>2</sup> powierzchni wody,  
200 łóżek hotelowych,

Koszt budowy - 35 mln €

- 200 nowych miejsc pracy
- roczne dochody zatrudnionych osób - 3,5 mln €
- 400.000 odwiedzających w roku
- 3,5 - 4,5 mln € wydatków / rocznie pozostają w regionie
- 70% z wartości inwestycji budowlanej pozostaje w regionie
- 150.000.-€ Euro dodatkowych podatków
- motywacja dla następnych inwestycji prywatnych w hotele itp.
- liczba noclegów 1995: 2.200; 2003: 37.490 (bez Rogner Bad Blumau)
- 340 miejsc pracy w Rogner Bad Blumau i w hotelu, 170 miejsc pracy w regionalnym sektorze usług



# PODSUMOWANIE

## Zalety:

- praktyczna nieograniczoność i odnawialność,
- powszechność występowania ciepła w pobliżu użytkownika,
- niezależność od zmiennych warunków klimatycznych i pogodowych,
- możliwość użytkowania bez powodowania zakłóceń w środowisku naturalnym,
- możliwość wykorzystania zasobów wody i energii geotermalnej dla innych aniżeli ciepłowniczych celów: rolniczych, ogrodniczych, technologicznych, balneologicznych i rekreacyjnych.

## Wady:

- ryzyko geologiczne wykonania pierwszego odwiertu.



Dziękuję za uwagę