

Politechnika Szczecińska
Katedra Techniki Ciepłej
Centrum Energii Odnawialnych PS

dr hab. inż. Aleksander A. Stachel,
prof. PS

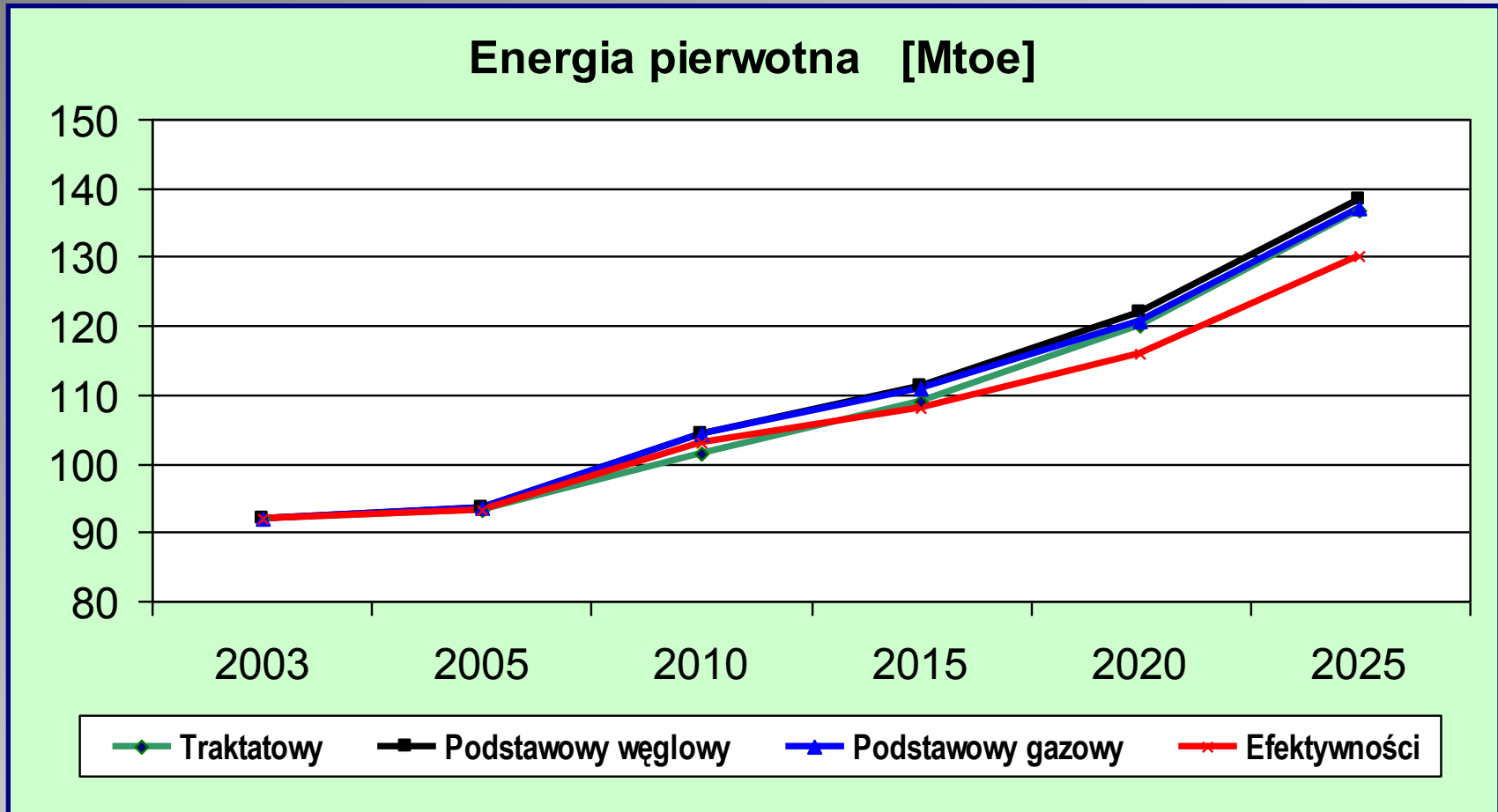
**Wykorzystanie energii geotermalnej
i geotermicznej: stan istniejący,
perspektywy, doświadczenia**

Polityka Energetyczna w Regionie Południowego Bałtyku,
Szczecin, 24-25.01.2008

Tematyka wykładu

- **Wprowadzenie**
- **Energia geotermiczna i geotermalna**
- **Systemy pozyskiwania energii geotermalnej**
- **Systemy wykorzystania energii geotermalnej**
- **Zasoby energii geotermalnej w Polsce**
- **Instalacje geotermalne w Polsce**
- **Dotychczasowe doświadczenia**
- **Perspektywy**
- **Podsumowanie**

Polska: prognoza zapotrzebowania na energię

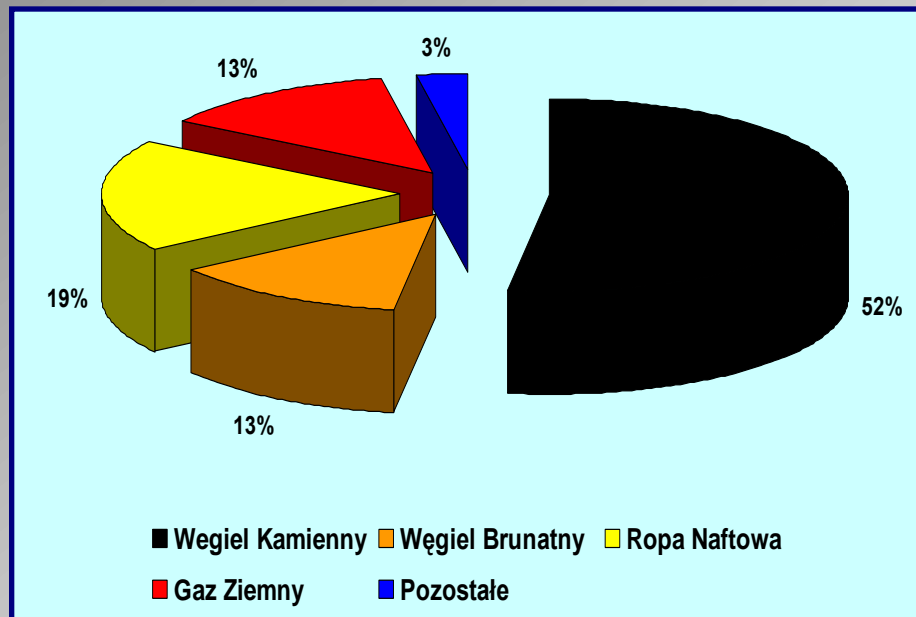
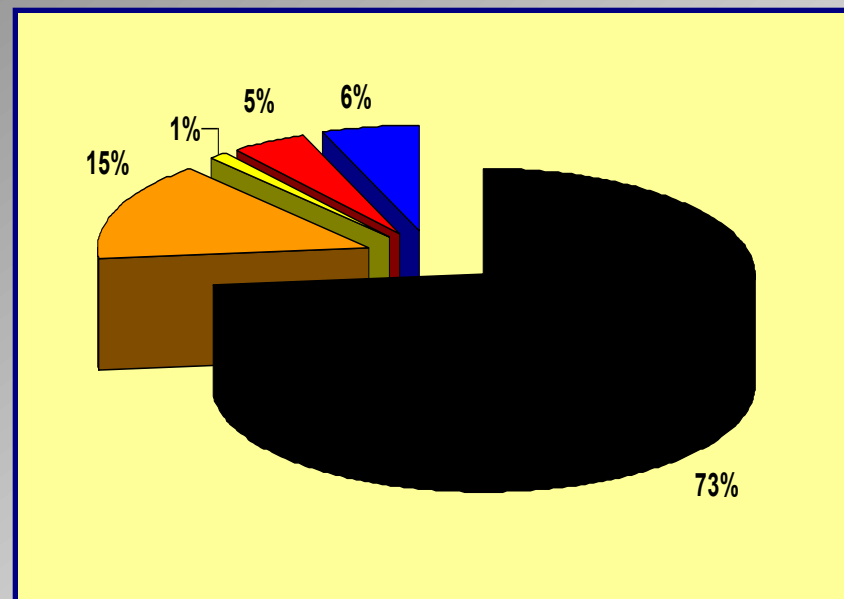


Polska: energia pierwotna

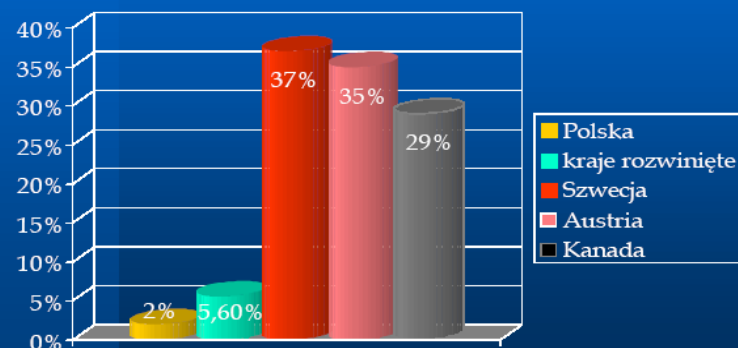
Pozyskanie energii pierwotnej



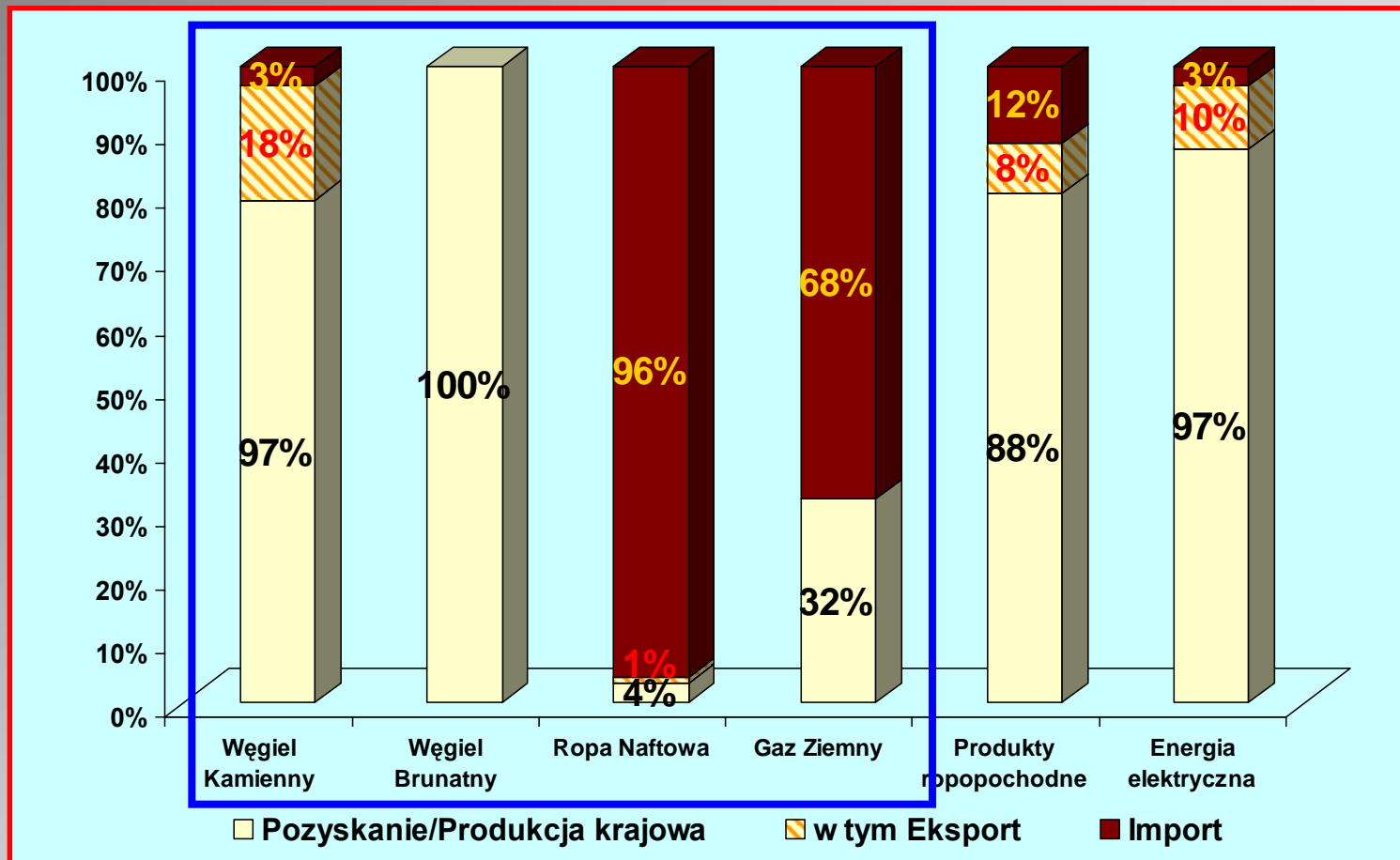
Zużycie energii pierwotnej



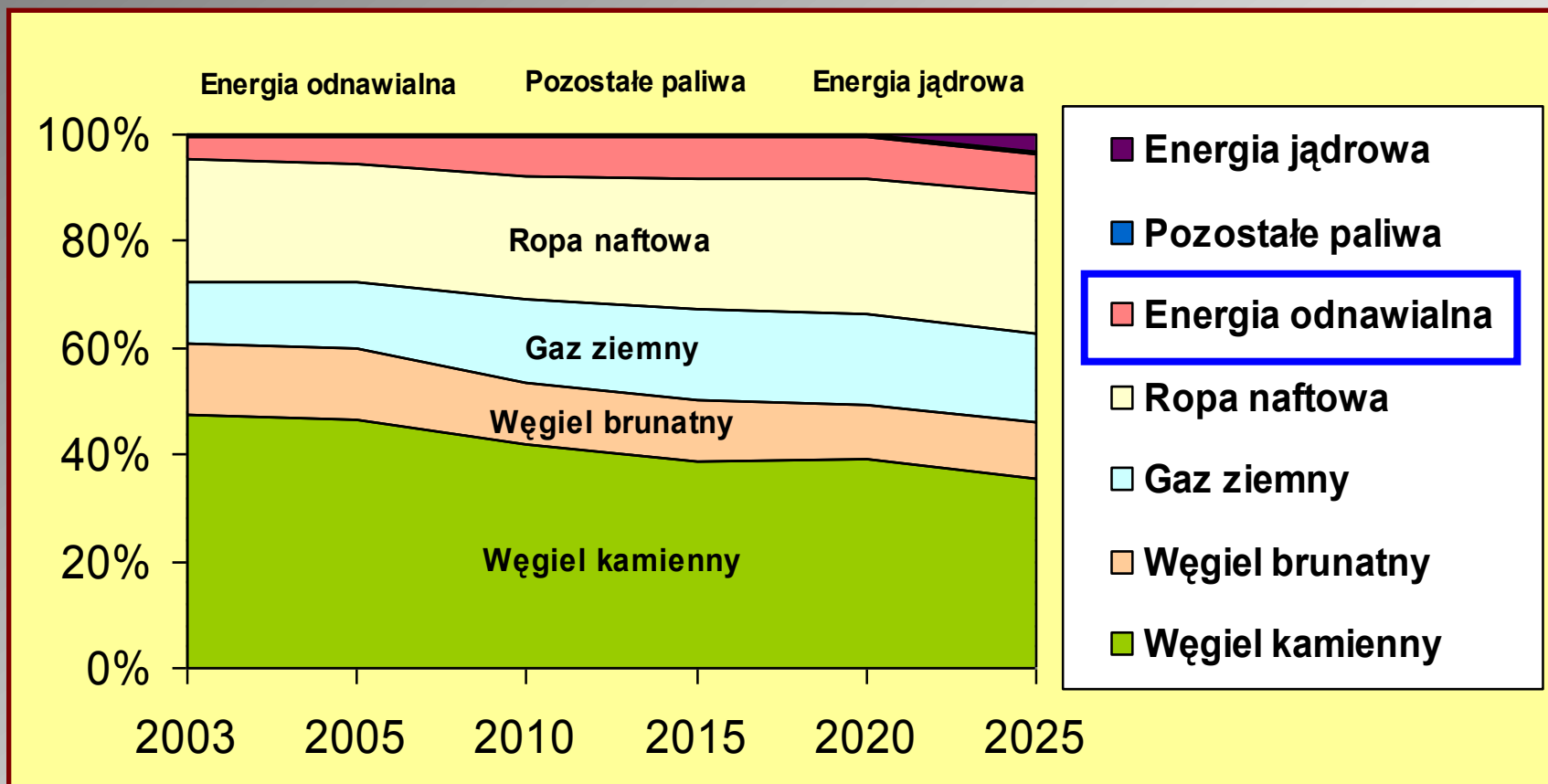
Udział źródeł odnawialnych w pokryciu
zapotrzebowania na energię pierwotną



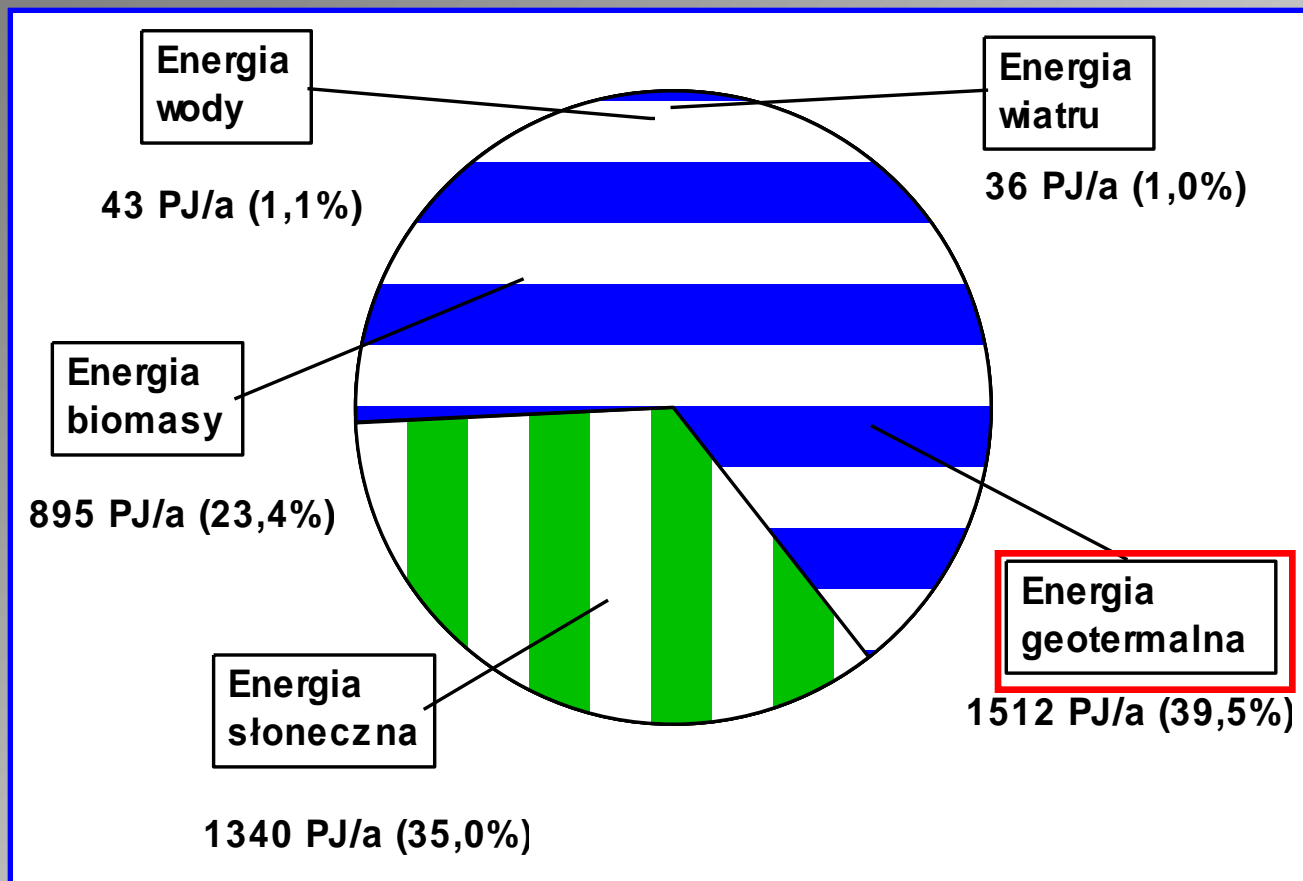
Polska: struktura pozyskania paliw i energii



Prognoza zmian struktury zapotrzebowania na paliwa i energię



Odnawialne Źródła Energii



Wykorzystanie energii z OZE w Polsce:

2006 r – 6 %

2010 r – 12%

???

**Energia geotermiczna/
geotermalna
???**

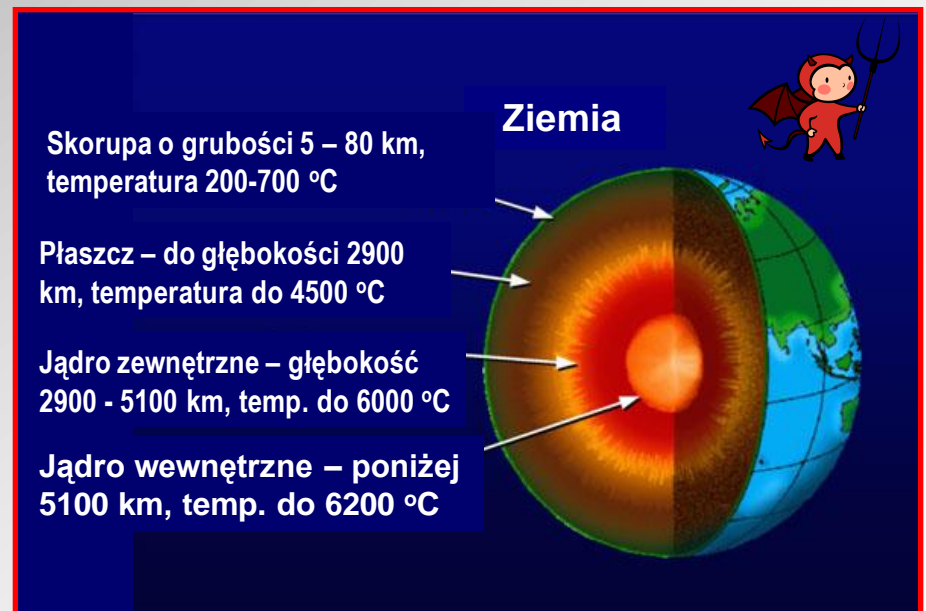
**Potencjał odnawialnych źródeł energii w Polsce
(wg G. Wiśniewskiego)**

Energia geotermiczna

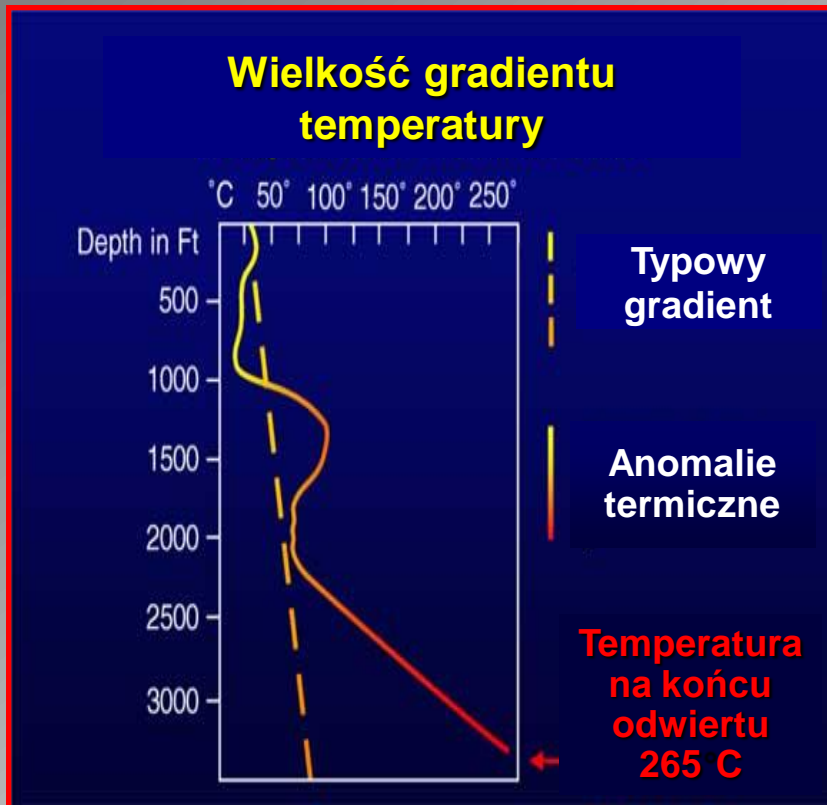
- energia rezydualna z okresu tworzenia Ziemi,
- energia naturalnego rozpadu promieniotwórczego,
- ciepło krystalizacji substancji tworzących jądro,
- ciepło dyssypacji pływów w płynnym wnętrzu wywołane działaniem Księżyca i Słońca



Średnia gęstości strumienia ciepła geotermicznego - 63 kW/km^2



Gradient geotermiczny



- Anomalie dodatnie – obszary wulkaniczne
- Anomalie ujemne – obszary wiecznej zmarzliny

Temperatura skał złożowych:

$$T = T_{go} + EH \text{ [}^\circ\text{C]}$$

gdzie:

H - głębokość [km]

E - gradient geotermiczny [K/km]

T_{go} - średnia temperatura na powierzchni [°C]



Średni gradient geotermiczny ~30 K/km

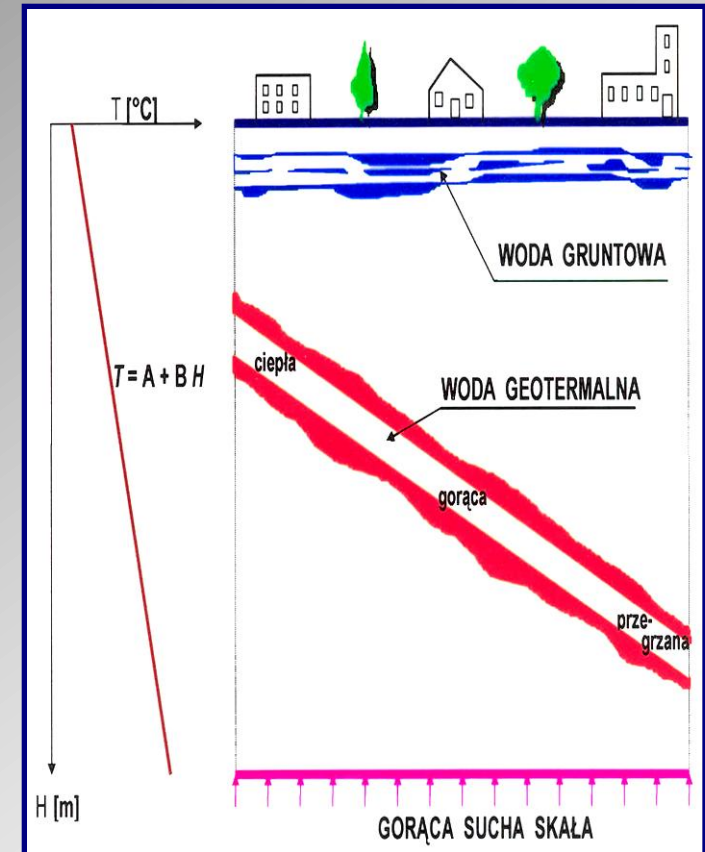
Energia geotermiczna

- Zasoby hydrogeotermalne – nośnikiem ciepła są naturalne wolne wody podziemne eksploatowane otworami wiertniczymi →
tzw. energia geotermalna
- Zasoby petrogeotermalne – energia suchych gorących skał lub wysadów solnych pozyskiwana przez wprowadzenie wody do formacji nagrzaných skał



Wody geotermalne

- **Wody ciepłe:** 20-35 °C
(niskotemperaturowe)
- **Wody gorące:** 35-80 °C
(średniotemperaturowe)
- **Wody b. gorące:** 80-100 °C
(wysokotemperaturowe):
- **Wody przegrzane:** > 100 °C



Zbiornik geotermiczny:
zasoby gorącej wody i/lub pary znajdującej się w strukturze skał porowatych pomiędzy warstwami nieprzepuszczalnej skały

Systemy pozyskiwania energii geotermalnej

Zespół elementów pozwalających wydobywać energię z wnętrza Ziemi na jej powierzchnię, za pomocą płynu jako nośnika ciepła:

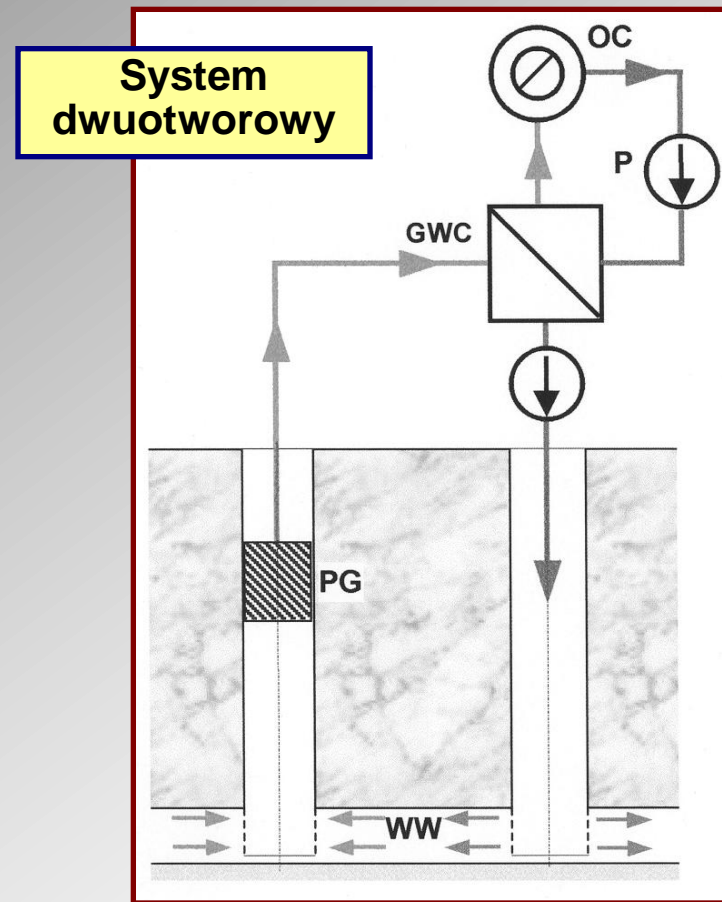
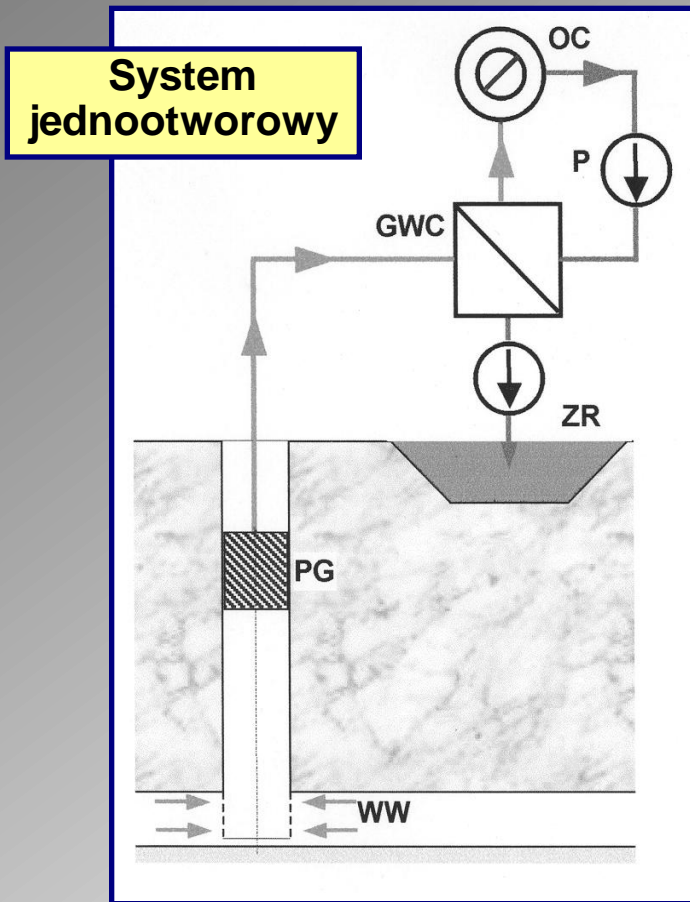
- **złóże geotermalne,**
- **kanały dostępu do złoża,**
- **płyn jako nośnik ciepła (najczęściej woda),**
- **specjalne oprzyrządowanie (filtry, pompy głębinowe, wymienniki ciepła ...).**

Złoże geotermalne

Czynniki decydujące o podjęciu eksploatacji wód geotermalnych na skalę przemysłową w sposób ekonomicznie uzasadniony:

- **korzystne warunki naturalne ośrodka skalnego:**
 - wystarczająca miąższość,
 - dobra przepuszczalność,
 - wymagana temperatura,
- **odpowiednie właściwości wody geotermalnej**
 - wydajność i wielkość zasobów w założonym okresie eksploatacji,
 - gęstość strumienia cieplnego,
 - gradient temperatury wgłębnej.

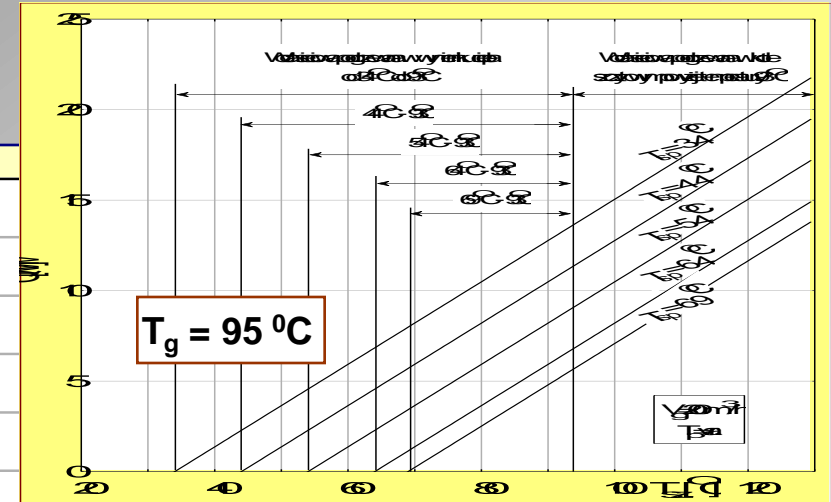
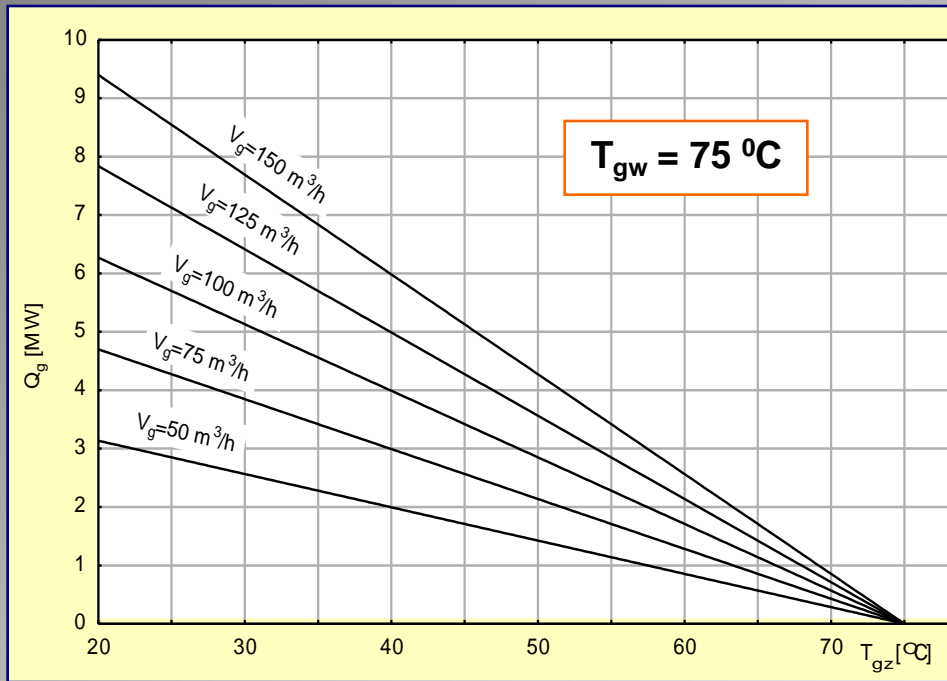
Systemy wydobywcze wód geotermalnych



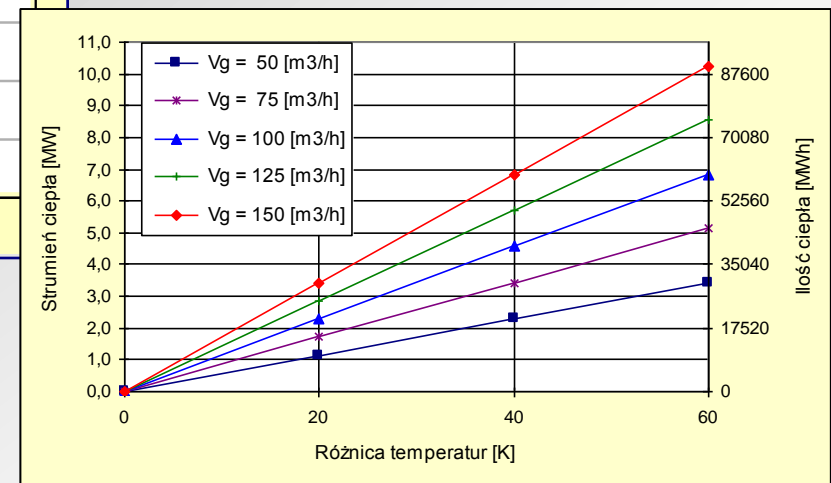
GWC - geotermalny wymiennik ciepła, OC - odbiornik ciepła, P – pompa, PG - pompa głębinowa, WW - warstwa wodonośna, S - sprężarka, ZR - zbiornik retencyjny

Potencjalne możliwości pozyskania ciepła geotermalnego

$$Q_g = V_g \cdot \rho \cdot c_p (T_{gw} - T_{gz})$$

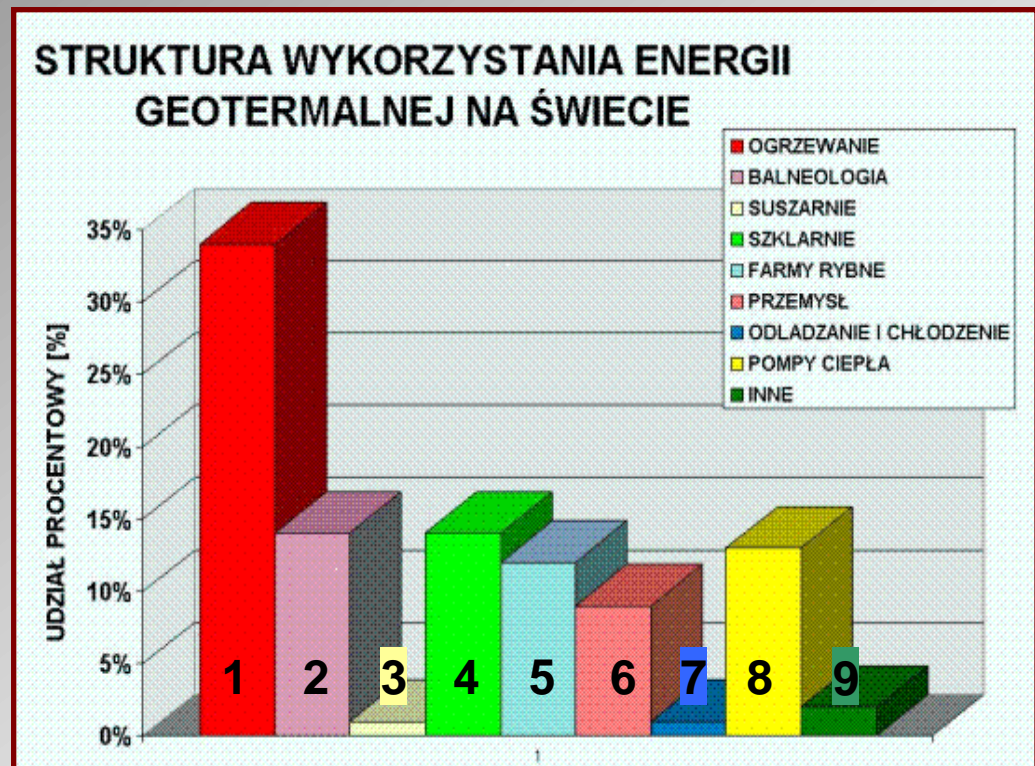


V	ΔT	ΔN	V	ΔT	ΔN	V	ΔT	ΔN
[m³/h]	[K]	[kW]	[m³/h]	[K]	[kW]	[m³/h]	[K]	[kW]
50	1	57	100	1	114	150	1	171
	5	285		5	570		5	855



Wykorzystanie wód geotermalnych

1. Ogrzewanie
2. Balneologia
3. Suszarnie
4. Szklarnie
5. Farmy rybne
6. Przemysł
7. Odladzanie i chłodzenie
8. Pompy ciepła
9. Energia elektryczna
- Inne



Wykorzystanie energii geotermalnej:

- 40 państw do produkcji ciepła,
- 35 państw do celów leczniczych i rekreacyjnych.

Balneologia

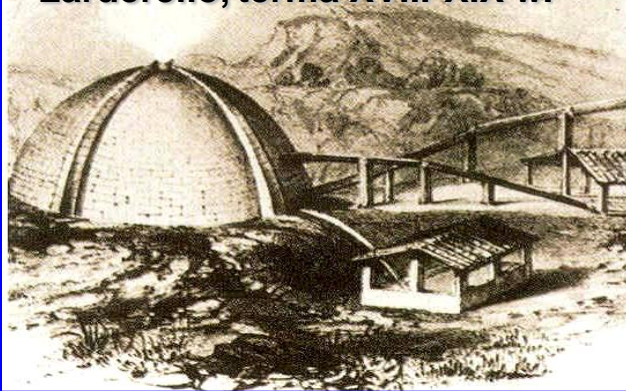
Indianie - ciepłe źródła, Kalifornia.



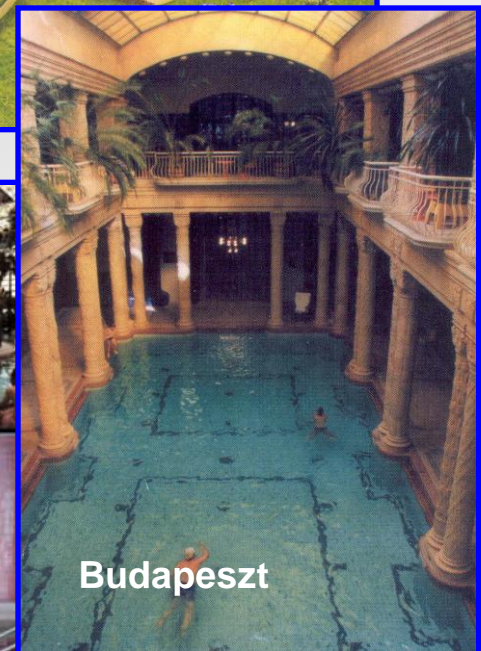
Bukowina Tatrzańska



Larderello, terma XVIII-XIX w.



Baseny (Japonia, Stany Zjednoczone, Europa



Budapeszt

Rolnictwo



Ryby i inne stwory



Wylęgarnia, Jeziora Mamucie, Kalifornia



Ryby, Dolina Imperial, Kalifornia



Krewetka, Centrum GeoHeat, Oregon



Aligatory, Idaho

Wykorzystanie różne



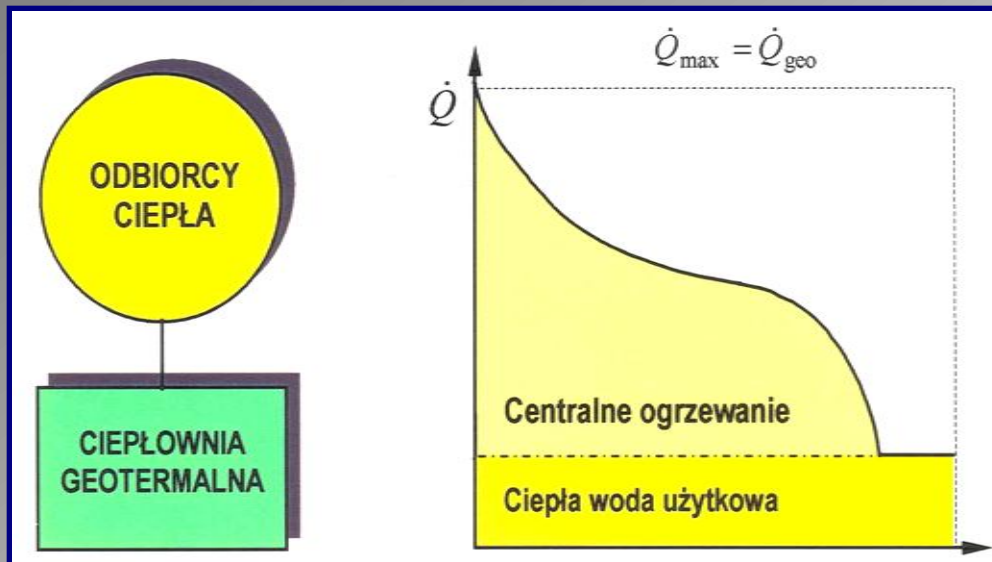
Larderello – zakład chemiczny



Reykjavik, Islandia - chodniki i drogi ogrzewane wodą geotermalną

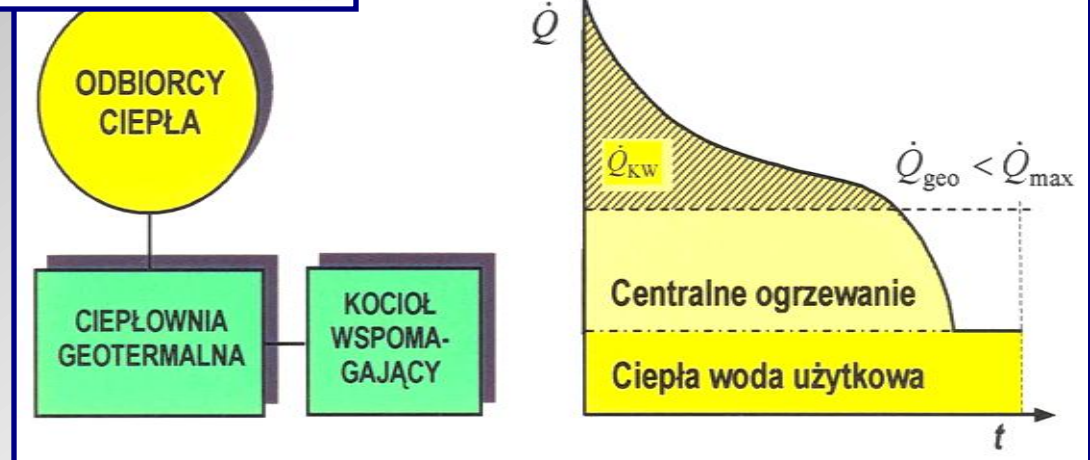


Zasady zagospodarowania energii wód geotermalnych

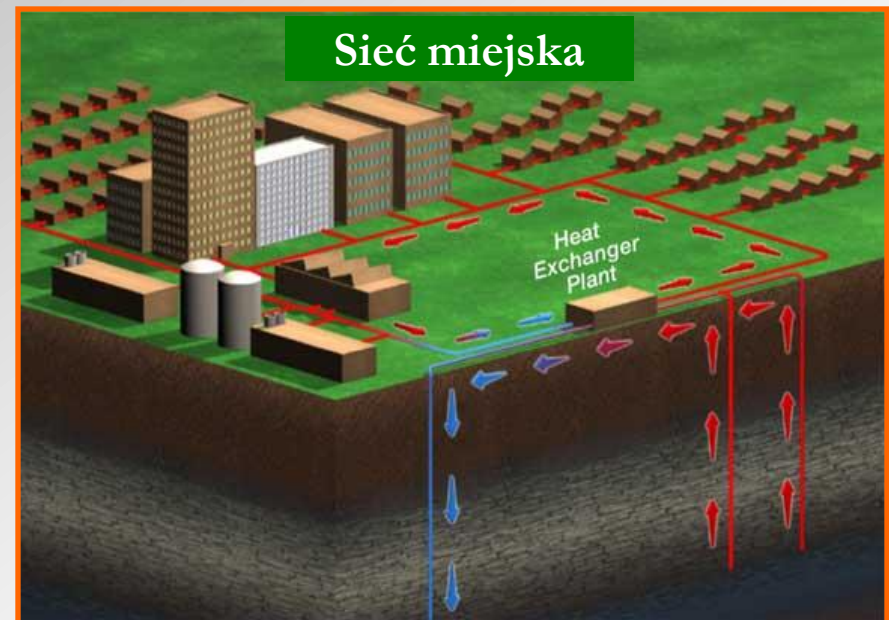
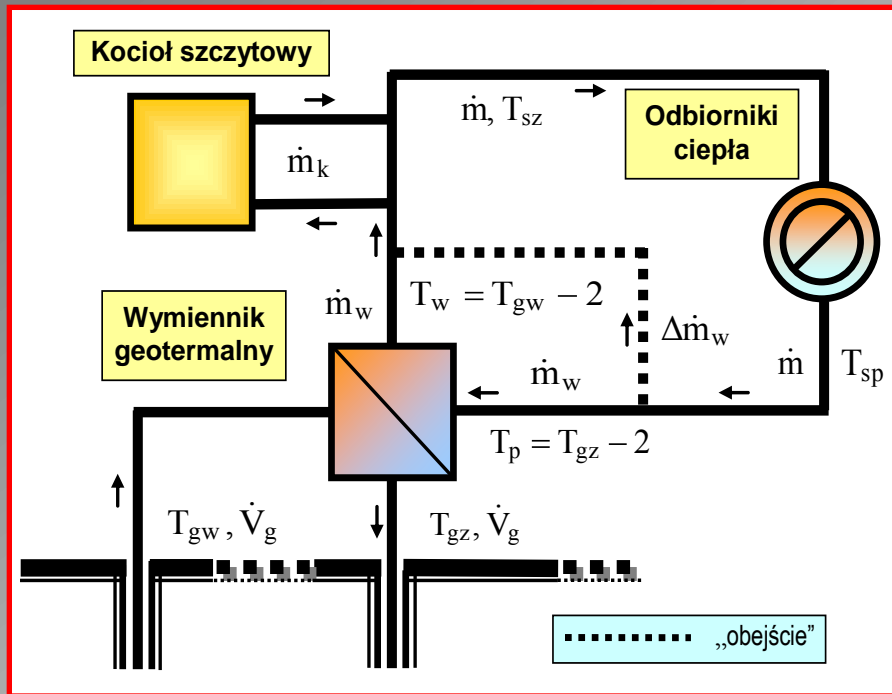


Układ monowalentny

Układ biwalentny



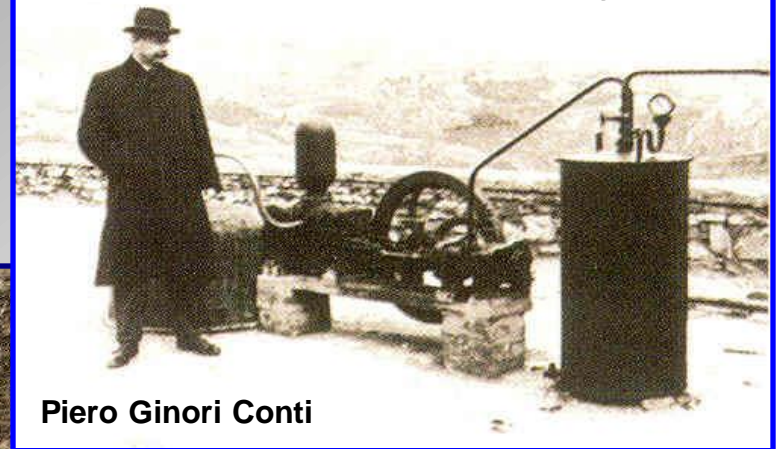
Ciepłownie geotermalne



Elektrownie geotermalne

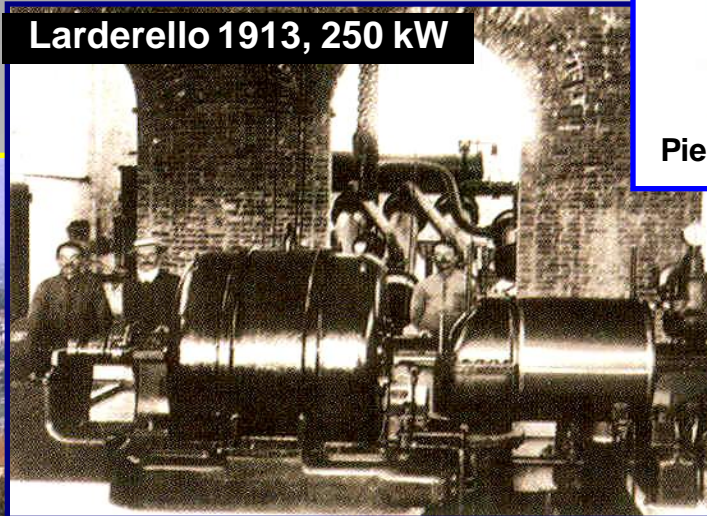
- napędzane parą suchą
- napędzane parą moką
- z obiegami „binarnymi”:
ORC, Kalina

Pierwsza elektrownia geotermalna Larderello, Włochy, 1904 r.

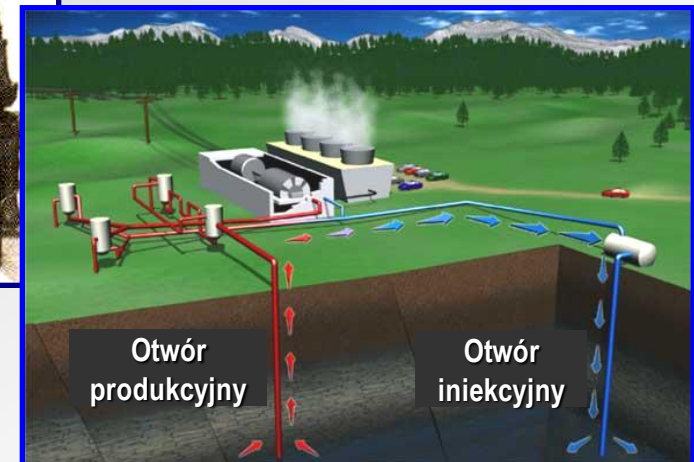
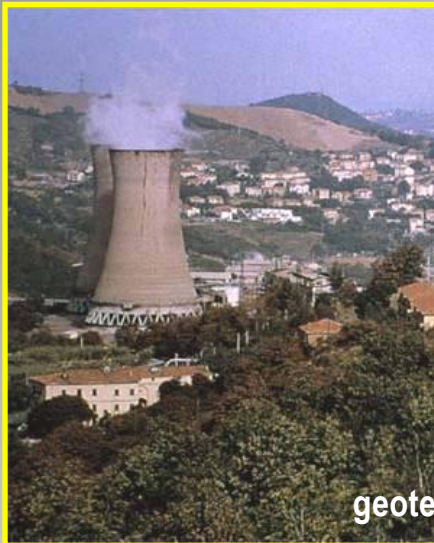


Piero Ginori Conti

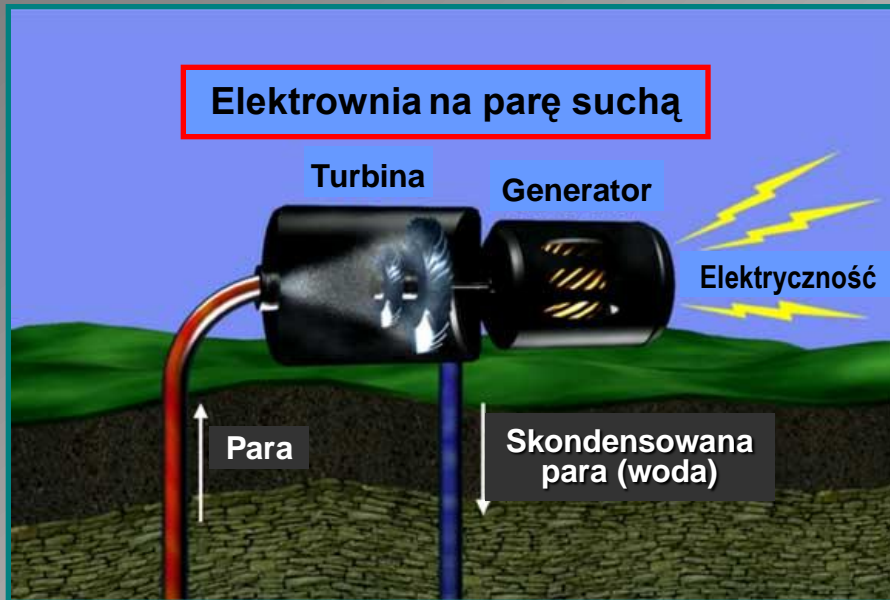
Larderello 1913, 250 kW



Elektrownia geotermalna Larderello, obecnie



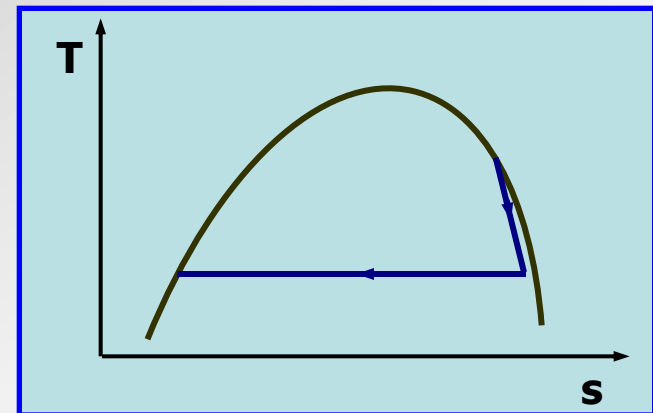
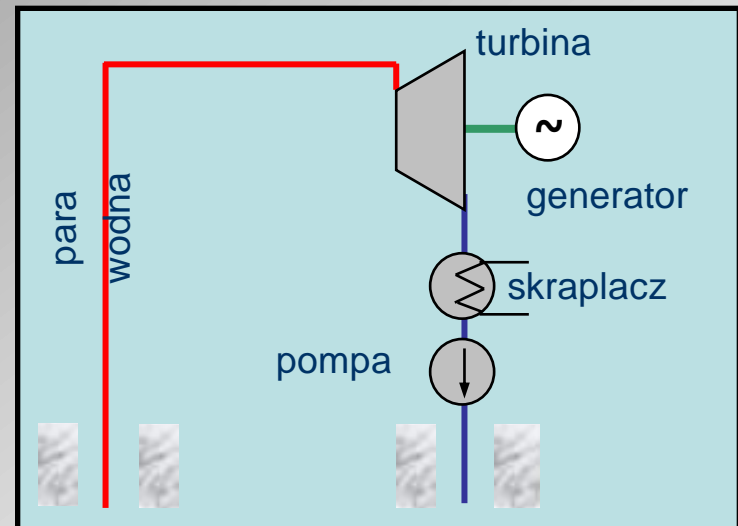
Elektrownie geotermalne na parę suchą



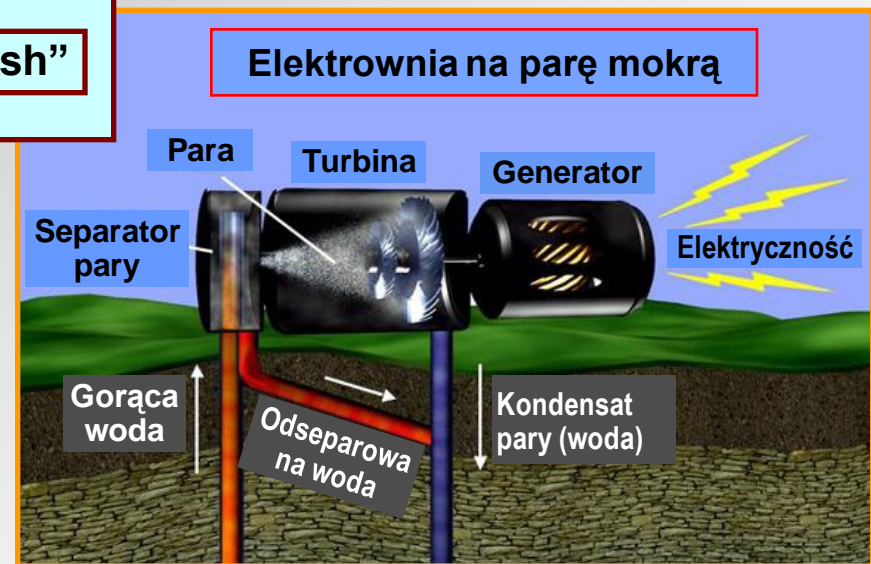
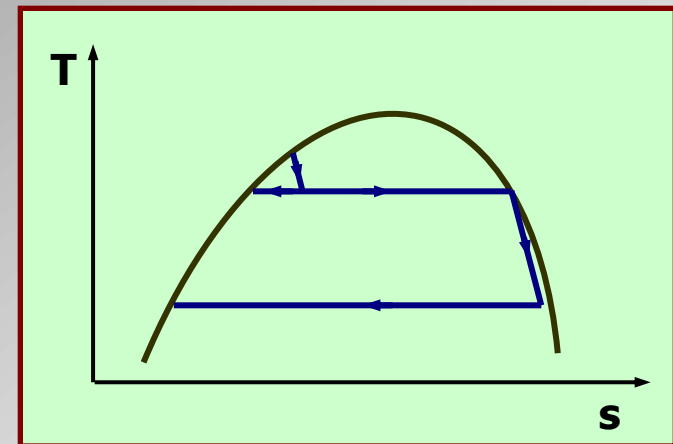
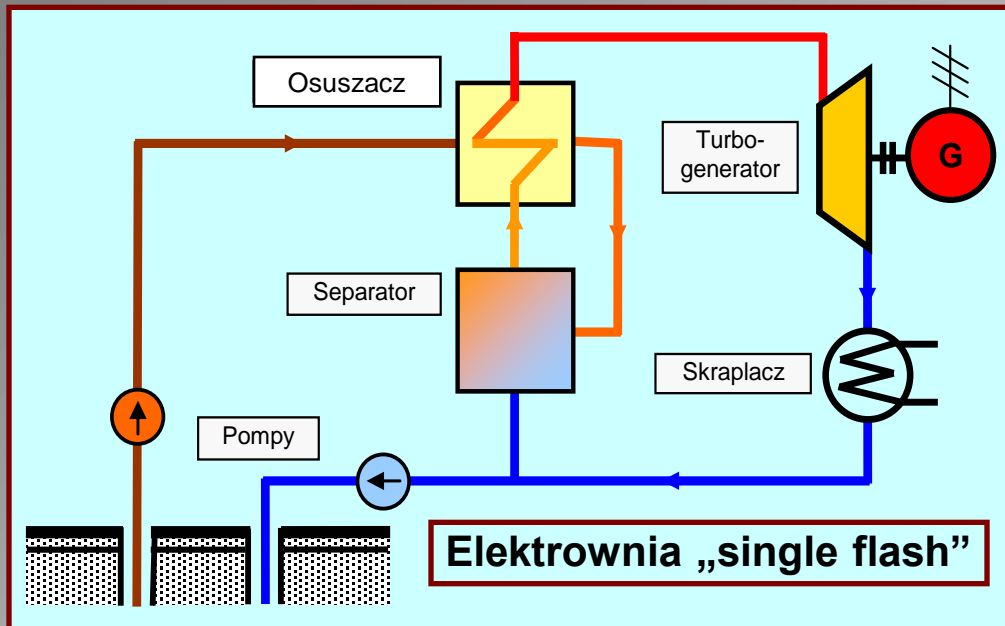
Pola pary suchej występują bardzo rzadko

Geysers, Kalifornia - pole pary suchej

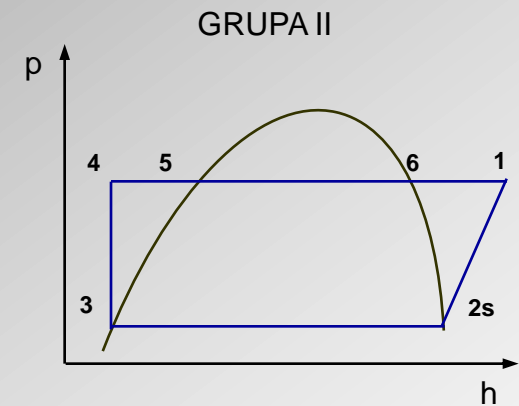
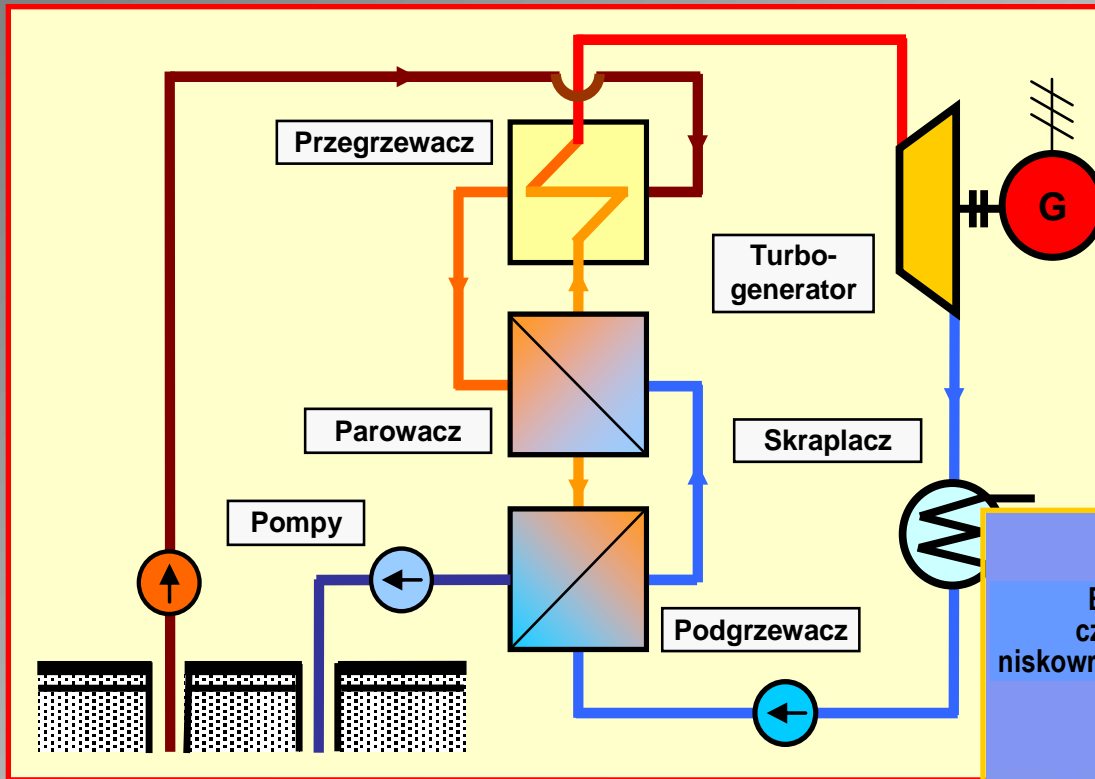
- 1962 r. - pierwsza geoelektrownia USA,
- na obszarze funkcjonuje 20 elektrowni.



Elektrownie geotermalne na parę moką

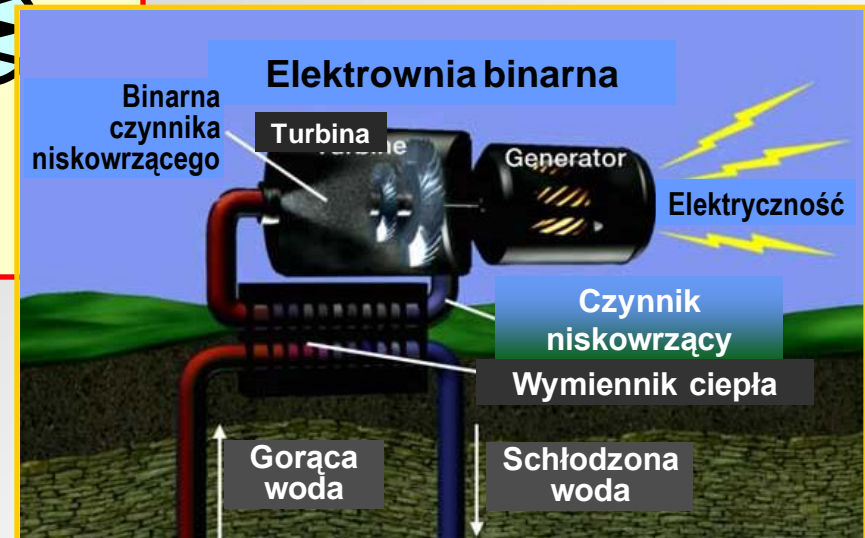


Elektrownie geotermalne z obiegiem binarnym

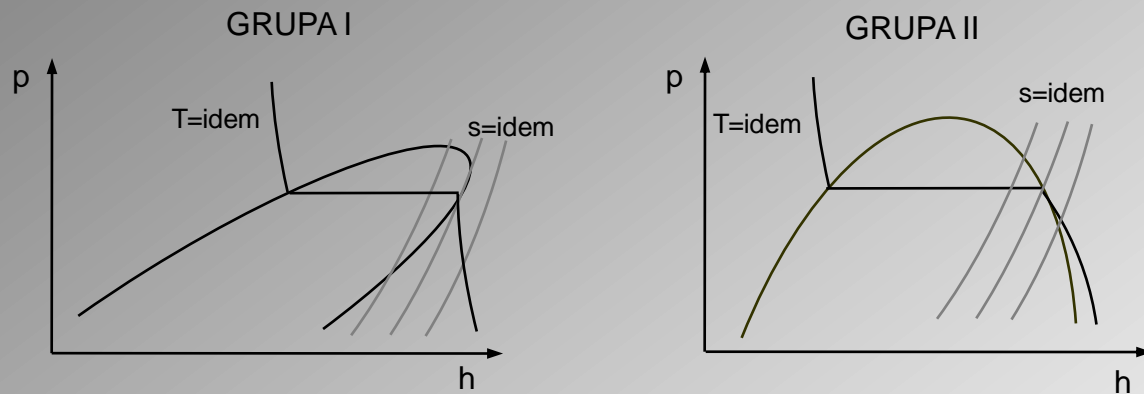


Efektywność ORC:

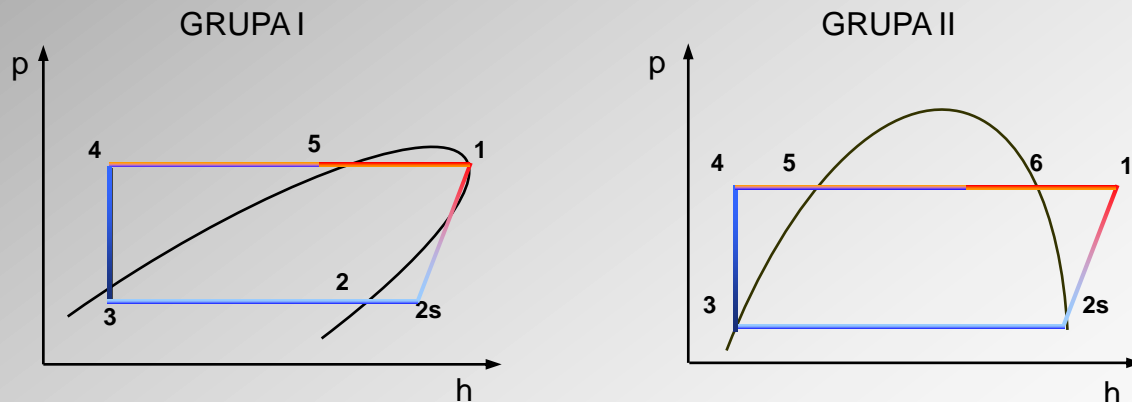
- Temperatura górnego i dolnego źródła ciepła.
- Właściwości termodynamiczne płynu roboczego.
- Sprawność elementów instalacji (turbina, ...).



Niskotemperaturowy obieg Clausiusa - Rankinea



Kształt krzywych nasycenia na wykresie Molliera



Cykl przemian termodynamicznych obiegu C-R realizowanego w obszarze pary przegrzanej

Elektrownie geotermalne z obiegiem binarnym

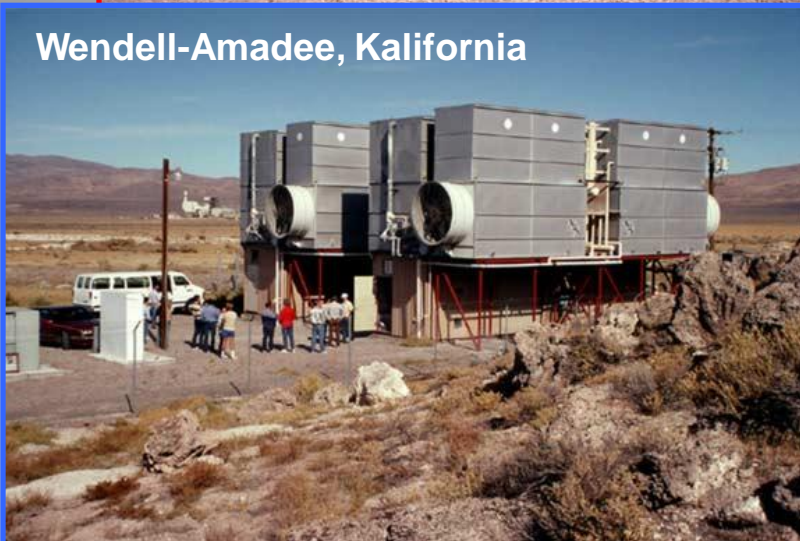
Soda Lake, Nevada



Kle, Tajlandia



Wendell-Amadee, Kalifornia

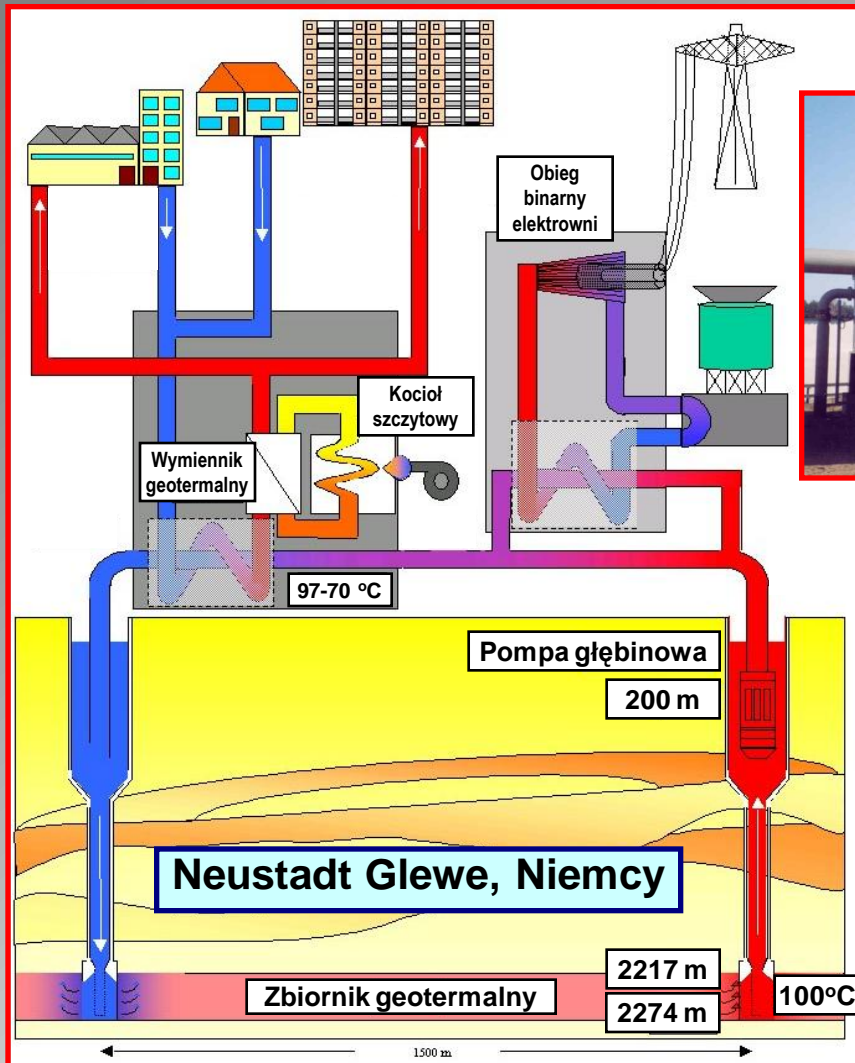


Połączenie elektrowni binarnej i układu pary mokrej.



Hawaje

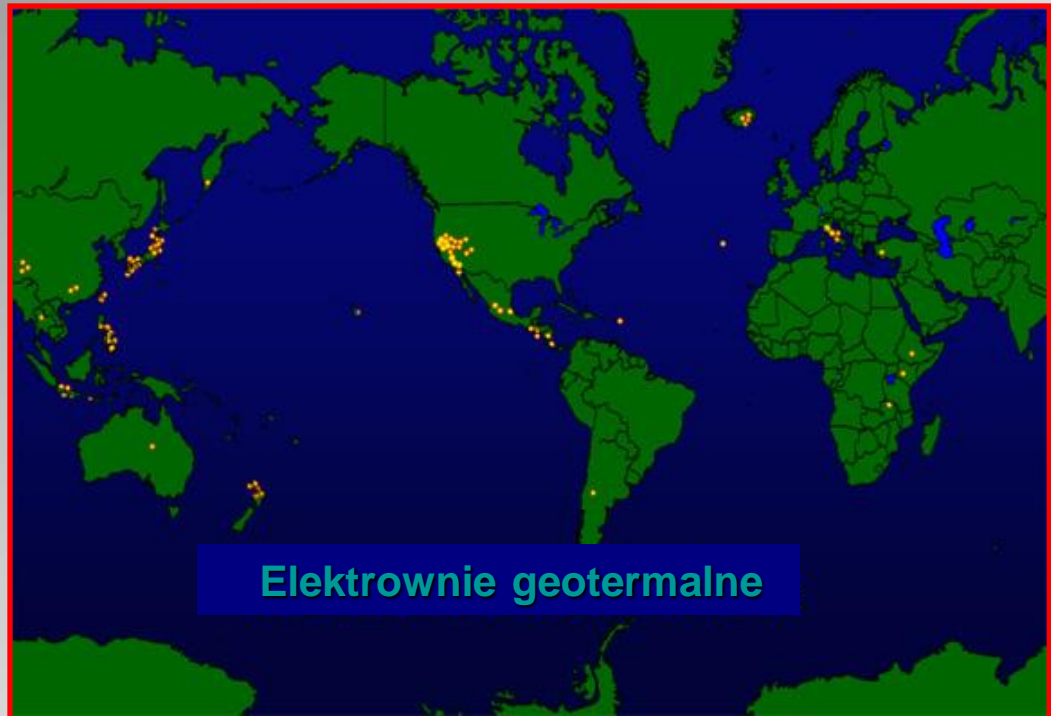
Elektrownie geotermalne z obiegiem binarnym



$N_{el} = 230 \text{ kW}$

Producenci energii elektrycznej z energii geotermalnej

Australia,	Chiny,
Etiopia,	Filipiny,
Francja (Gwadelupa),	Islandia,
Gwatemala,	Izrael,
Indonezja,	Kenia,
Japonia,	Meksyk,
Kostaryka,	Nikaragua,
Niemcy,	
Nowa Zelandia,	
Portugalia (Azory),	
Rosja (Kamczatka),	
Salwador,	
Stany Zjednoczone,	
Szwajcaria,	Tajlandia
Tajwan,	Turcja,
Tybet,	Włochy,
Zambia	



**Elektrownie: moc łączna ~8200 MW,
60 mln ludzi w 21 państwach**

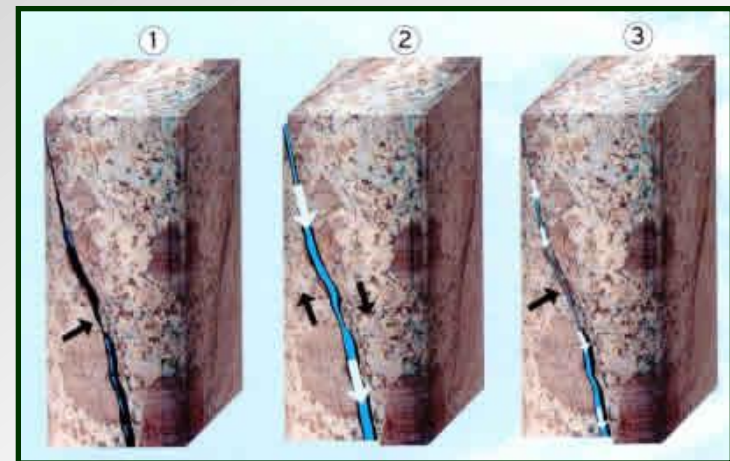
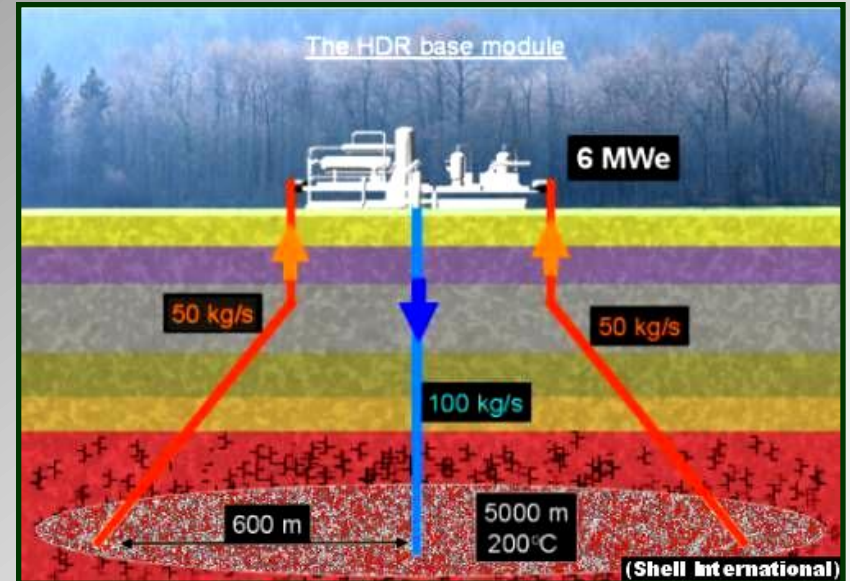
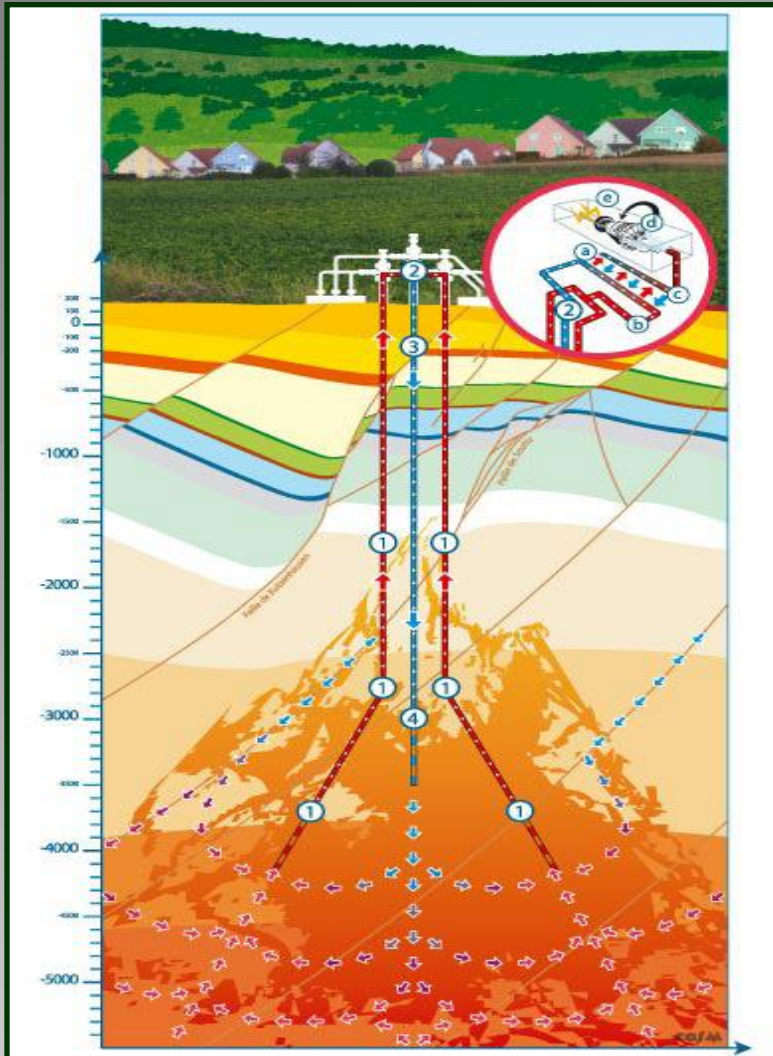
**Możliwość zaspokojenia 100% potrzeb
w 39 krajach (620 mln mieszkańców)**

Ciepło zawarte w skałach



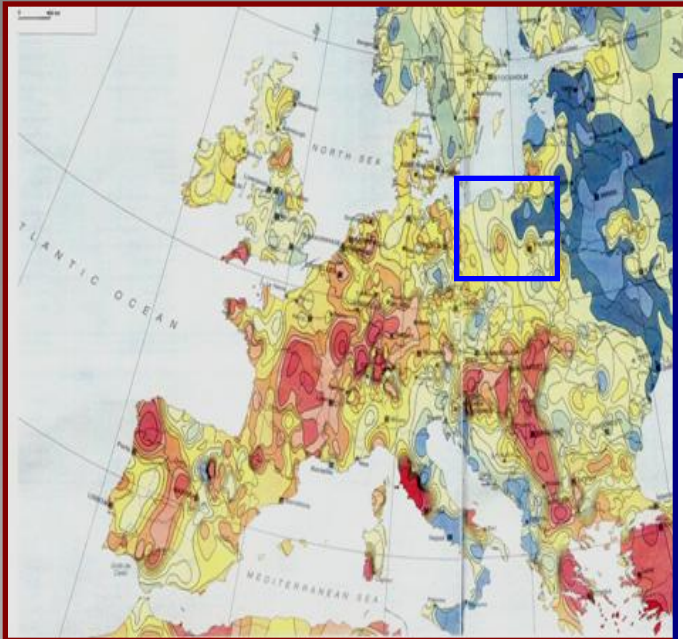
- 1 km³ granitowej skały o $T > 200^{\circ}\text{C}$ ochłodzonej do 20°C :
 - = 15.000 GWh ciepła
 - = 1.275.000 ton oleju opałowego
 - = więcej niż 10MW (okres 20 lat)
- Dostępny zasób:
 - = 125.000 km² w Zachodniej Europie z temperaturą $> 200^{\circ}\text{C}$ na głębokości około 5000 m (badania Shell)
- 12.500 km² (x1 km grubość) pierwszego zasobu:
 - = 900TWh/rok
 - = Europejska produkcja energii jądrowej (1995)

Uproszczony schemat pracy siłowni HDR

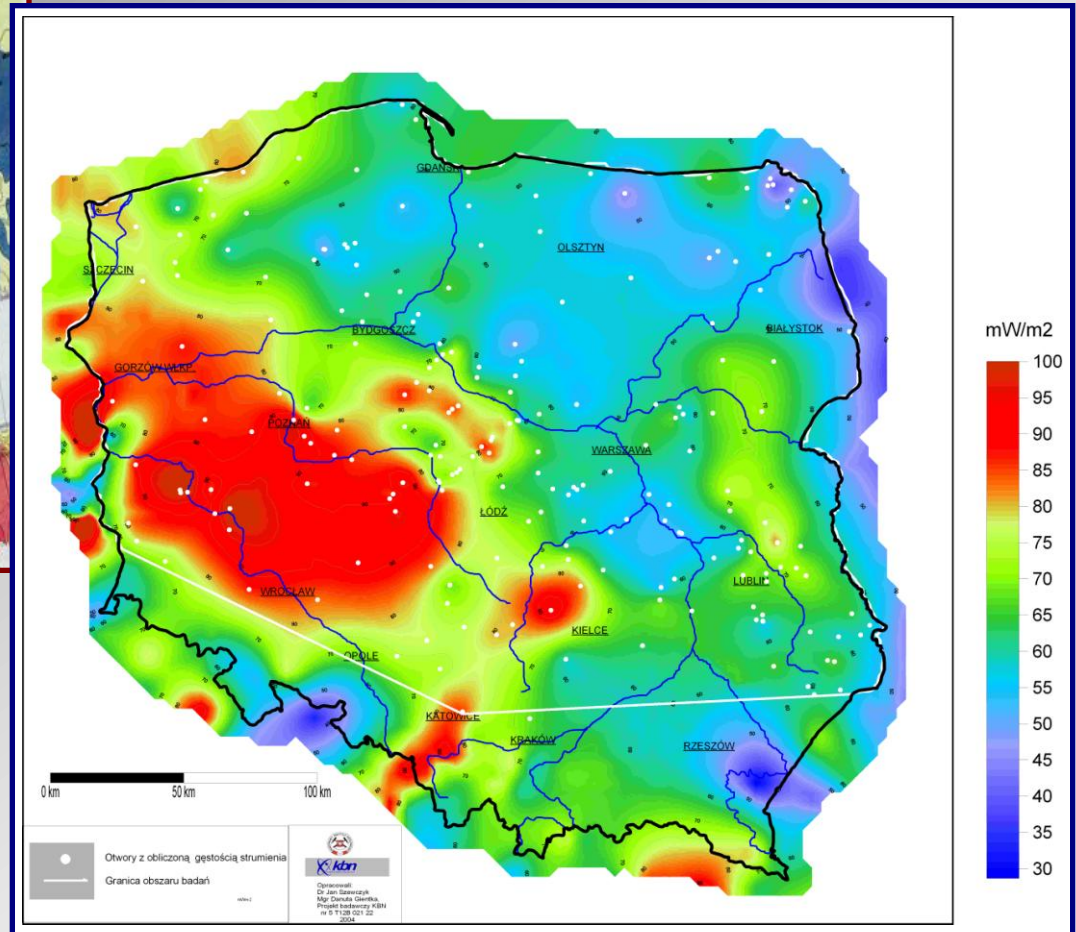


POLSKA

Geotermiczny strumień ciepły na obszarze Polski



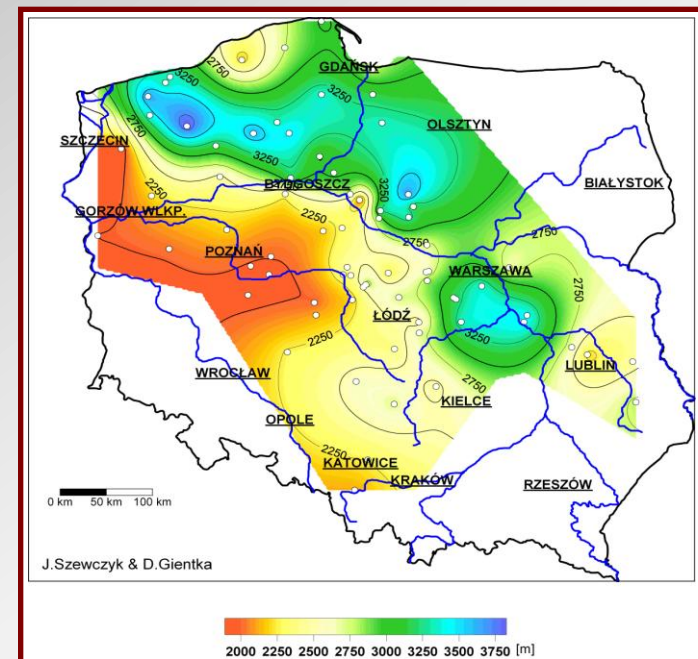
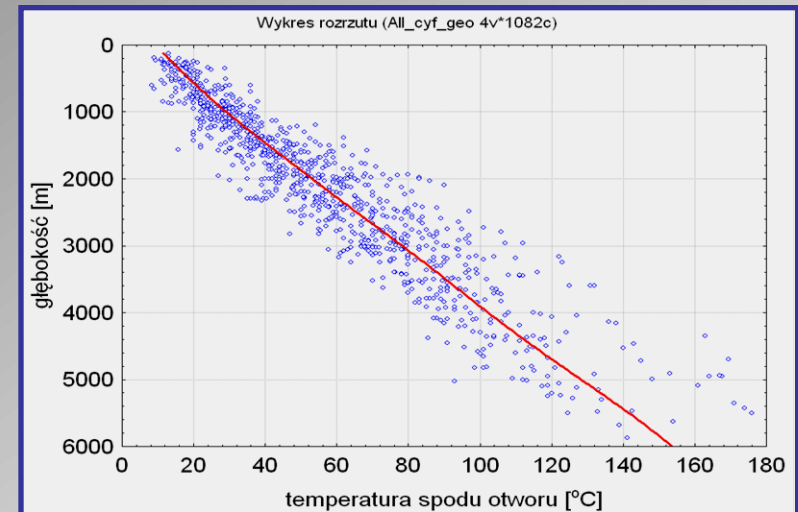
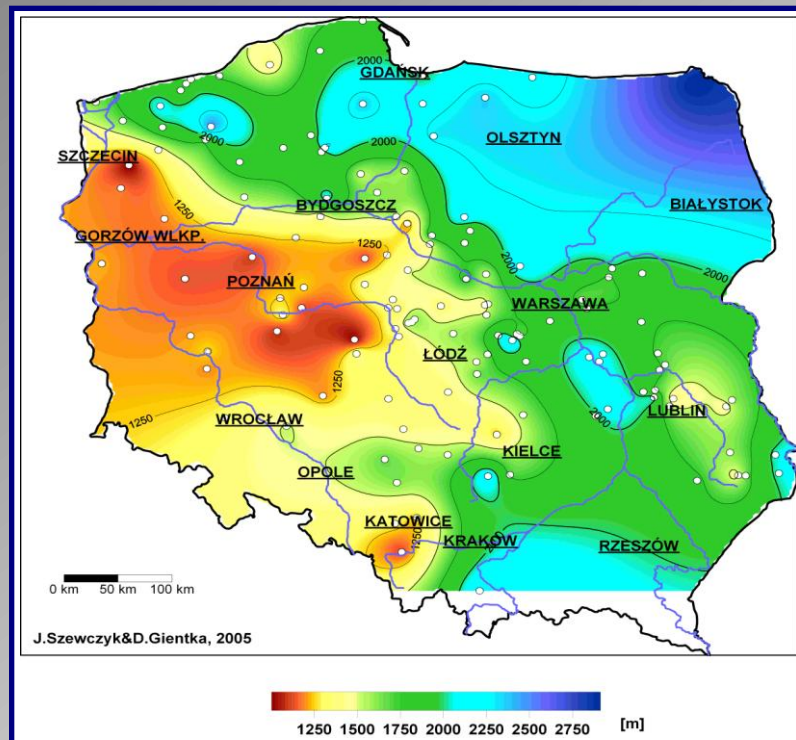
Atlas of Geothermal Resources in Europe, Hurter & Haenel, 2002)



Temperatury wgłębne na obszarze Polski

Temperatury wgłębne →

Głębokość występowania izotermi

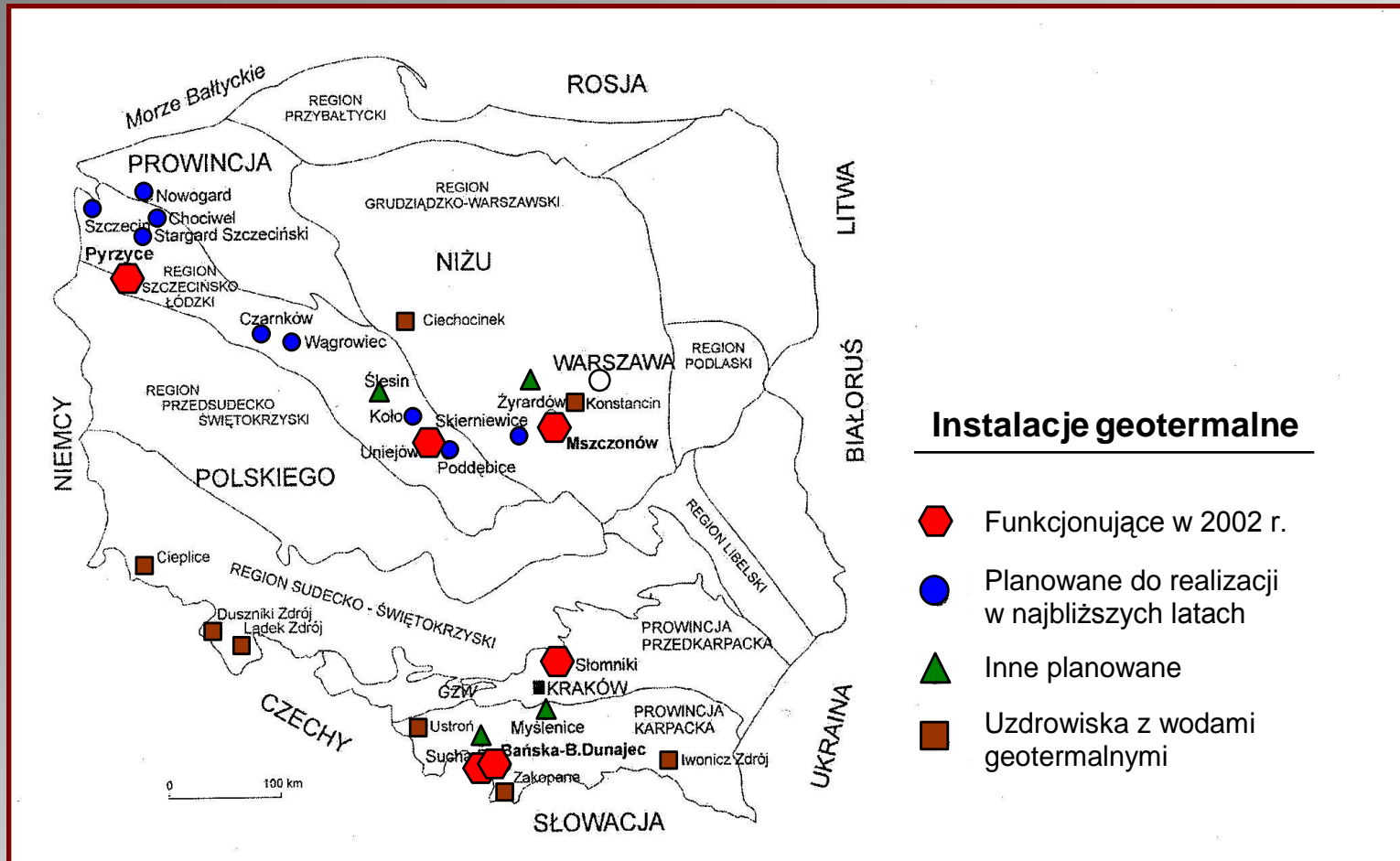


Głębokość występowania izotermi +80°C →

Zasoby energii geotermalnej na Niżu Polskim

Formacja	Temperatura złoża wód	Zasoby statyczne wydobywalne	Energia - zasoby dyspozycyjne	
	[°C]	[J]	[J/rok]	[TOE/rok]
Zbiornik Dolnokredowy <i>(65 mln lat)</i>	do 40	$1,66 \cdot 10^{19}$	$0,96 \cdot 10^{17}$	$2,18 \cdot 10^6$
	40 – 60	$1,46 \cdot 10^{19}$	$1,44 \cdot 10^{17}$	$3,27 \cdot 10^6$
	60 – 80	$1,19 \cdot 10^{19}$	$1,23 \cdot 10^{17}$	$2,80 \cdot 10^6$
	80 – 100	$0,24 \cdot 10^{19}$	$0,19 \cdot 10^{17}$	$0,43 \cdot 10^6$
	Razem	$4,55 \cdot 10^{19}$	$3,82 \cdot 10^{17}$	$8,68 \cdot 10^6$
Zbiornik Dolnojurajski <i>(45 mln lat)</i>	do 40	$0,51 \cdot 10^{20}$	$1,69 \cdot 10^{17}$	$3,84 \cdot 10^6$
	40 – 60	$1,66 \cdot 10^{20}$	$6,20 \cdot 10^{17}$	$14,09 \cdot 10^6$
	60 – 80	$1,55 \cdot 10^{20}$	$5,48 \cdot 10^{17}$	$12,45 \cdot 10^6$
	80 – 100	$0,44 \cdot 10^{20}$	$2,52 \cdot 10^{17}$	$5,73 \cdot 10^6$
	powyżej 100	$0,20 \cdot 10^{20}$	$1,42 \cdot 10^{17}$	$3,23 \cdot 10^6$
Razem	$4,36 \cdot 10^{20}$	$17,31 \cdot 10^{17}$	$39,34 \cdot 10^6$	

Instalacje geotermalne w Polsce

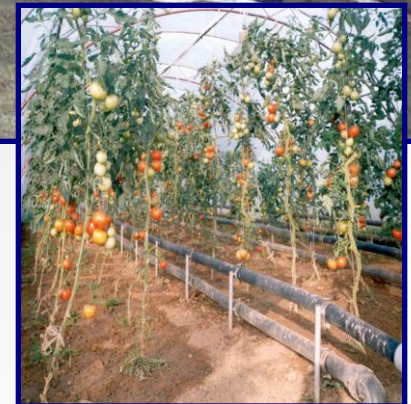
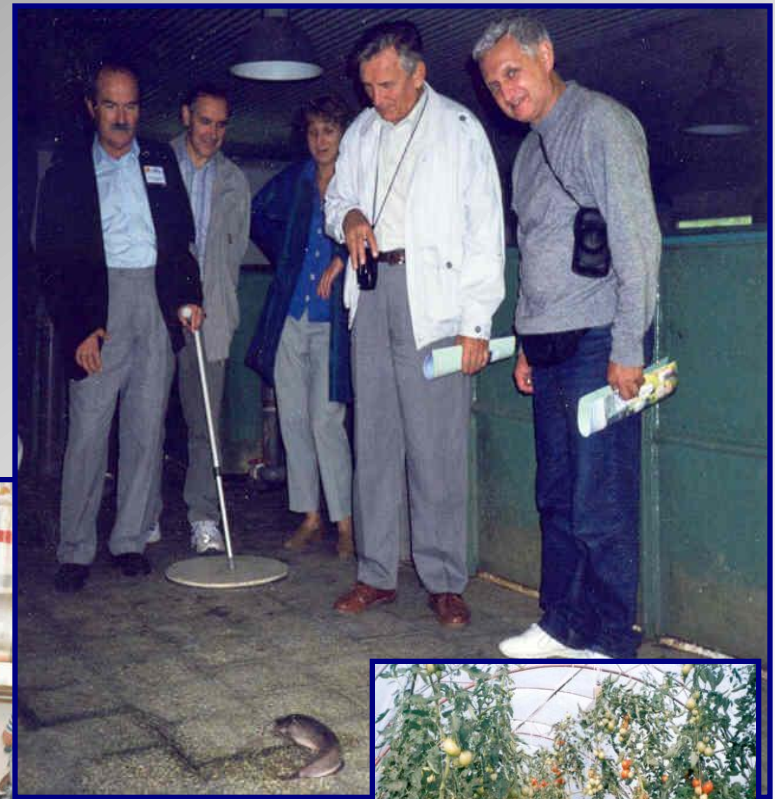


Instalacje geotermalne w Polsce

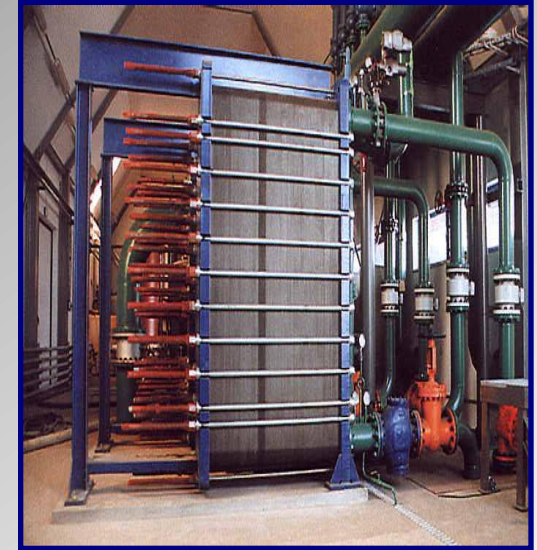
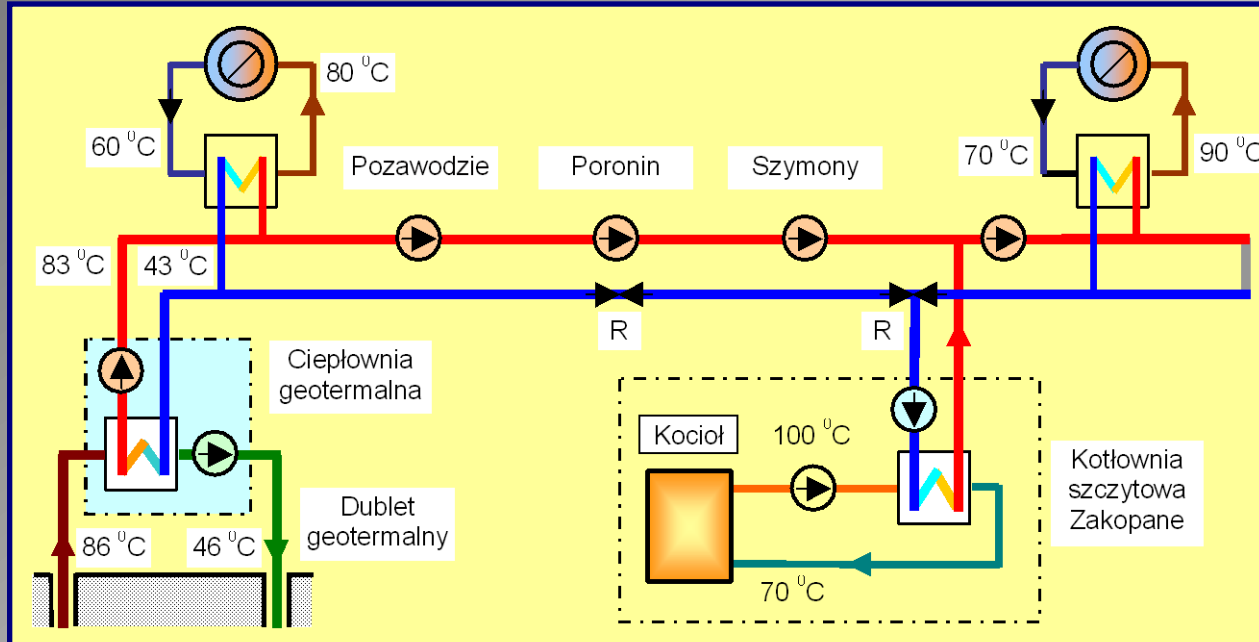
Parametr charakteryzujący		Banska - B-Dunajec	Pyrzyce	Mszczonów	Uniejów	Banska N. - B-Dunajec	Słomniki k. Krakowa
Rok uruchomienia	-	1994	1996	1999	2001	2001	2002
Temperatura wody w złożu	C	86	61	40	67-70	76-80	17
Głębokość złoża	m	2000-3000	1500-1650	1600-1700	~2000	2500	300
Mineralizacja	g/l	3,0	120	0,5	6,8-8,8	3,0	-
Wydatek	m ³ /h	120	2x170	60	68	550	260
Całkowita moc cieplna	MW _t	9	50	12	4,6	125	3,5

Instalacja doświadczzalna IGSMiE PAN – 1994r.

- zbiornik artezyjski - ciśnienie: 2,6 MPa,
- 1 dublet geotermalny IG-1/PAN-1,
- wydajność 120 m³/h, temperatura: 80°C,
- 2 płytowe wymienniki ciepła (9 MW_t),
- odbiorcy: ok. 200 budynków, szkoła, kościół, obiekty IGSMiE PAN (co + cwu)



Geotermia Podhalańska – 2001 r.



Ciepłownia geotermalna:

- dublet geotermalny PGP-1/PGP-2,
- wydajność: 550 m³/h, temp. 82 - 87°C,
- geotermalne wymienniki ciepła (40 MW_t),
- magistrała przesyłowa do Zakopanego ~13 km

Geotermia Podhalańska – 2001 r.

Ciepłownia szczytowa Zakopane:

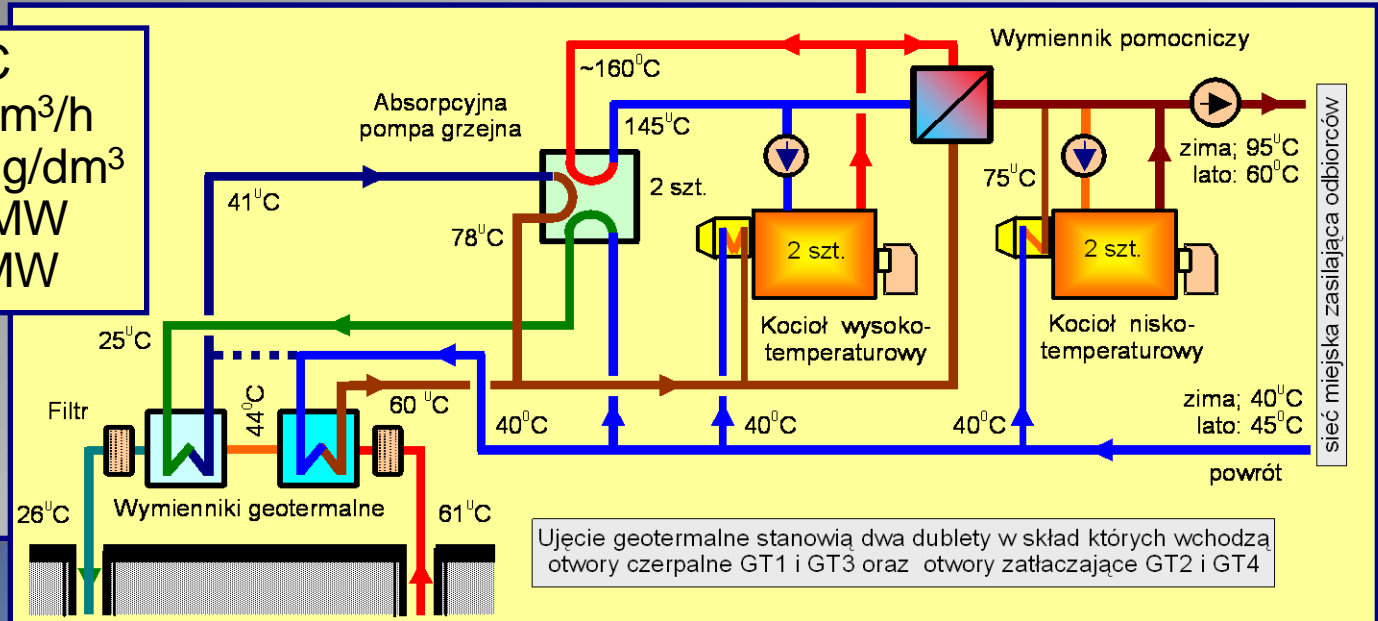
- wodne kotły gazowe 10 MW – 2 szt.
- kocioł gazowo-olejowy 16 MW – 1 szt.
- ekonomizery kotłów - 1 MW (każdy),
- agregaty ciepłno-prądowe o mocy 1,5 MW_e i 2,1 MW_t - 3 szt.
- niskotemperaturowa sieć miejska – 63,8 km,
- płytowe wymienniki separujące 17 MW – 3 szt.,
- perspektywa: rozbudowa instalacji do Nowego Targu,
- po zakończeniu - mocy geotermalna 125 MW.



Geotermia

Pyrzyce – 1996 r.

- temperatura: 63°C
- wydajność: 340 m³/h
- mineralizacja: 120 g/dm³
- moc całkowita: 50 MW
- moc geoterm.: 13 MW



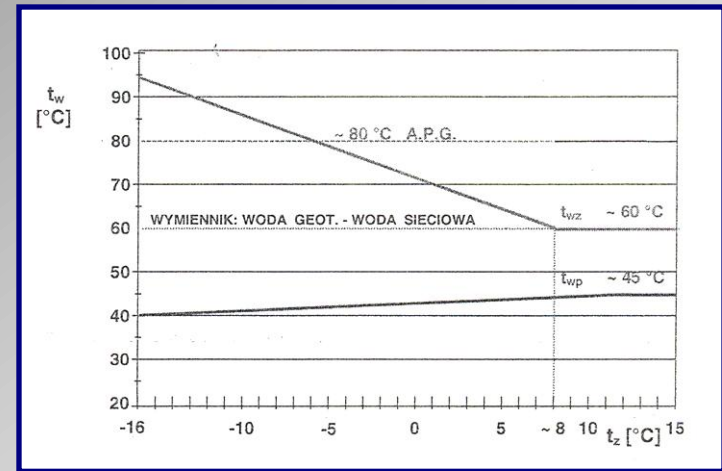
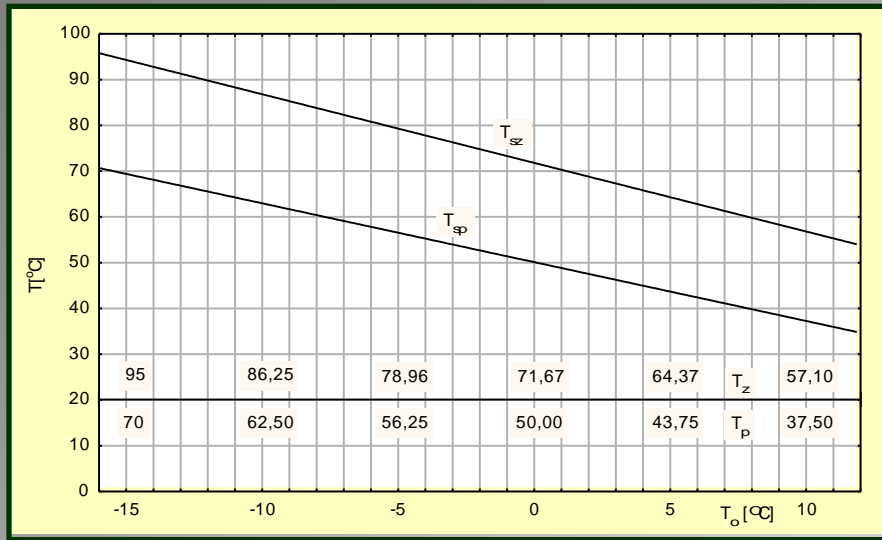
Geotermia

Pyrzyce – 1996 r.

Ciepłownia geotermalna Pyrzyce:

- Wymiennik geotermalny I st. 7,2 MW,
- Wymiennik geotermalny II st. 7,6 MW,
- Absorpcyjna pompa ciepła BrLi-H₂O 9,5 MW – 2 szt.,
- Szczytowe średnitemperaturowe wodne kotły gazowe – 8 MW każdy – 2 szt.,
- Ekonomizery kotłów niskotemperaturowych 2 x 2,2 MW,
- Kotły wysokotemperaturowe o mocy 16 MW – 2 szt.,
- Ekonomizery kotłów wysokotemperaturowych 2 x 1,8 MW.

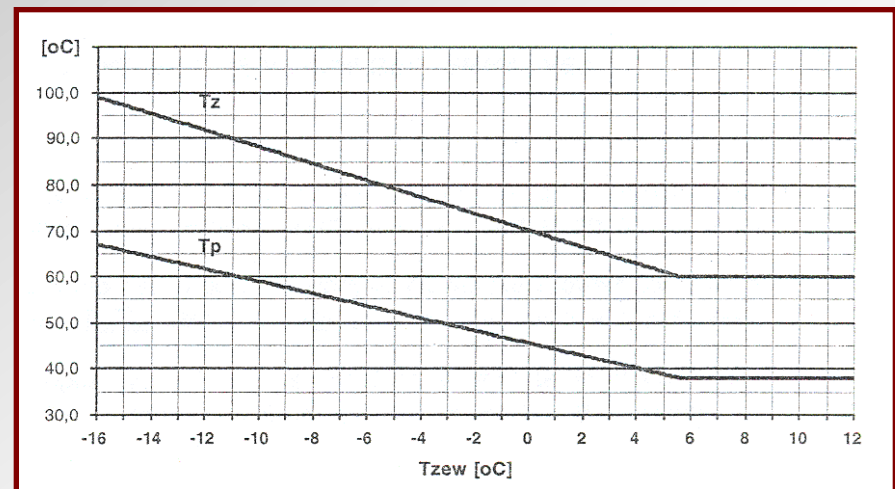
Geotermia Pyrzyce – 1996 r.



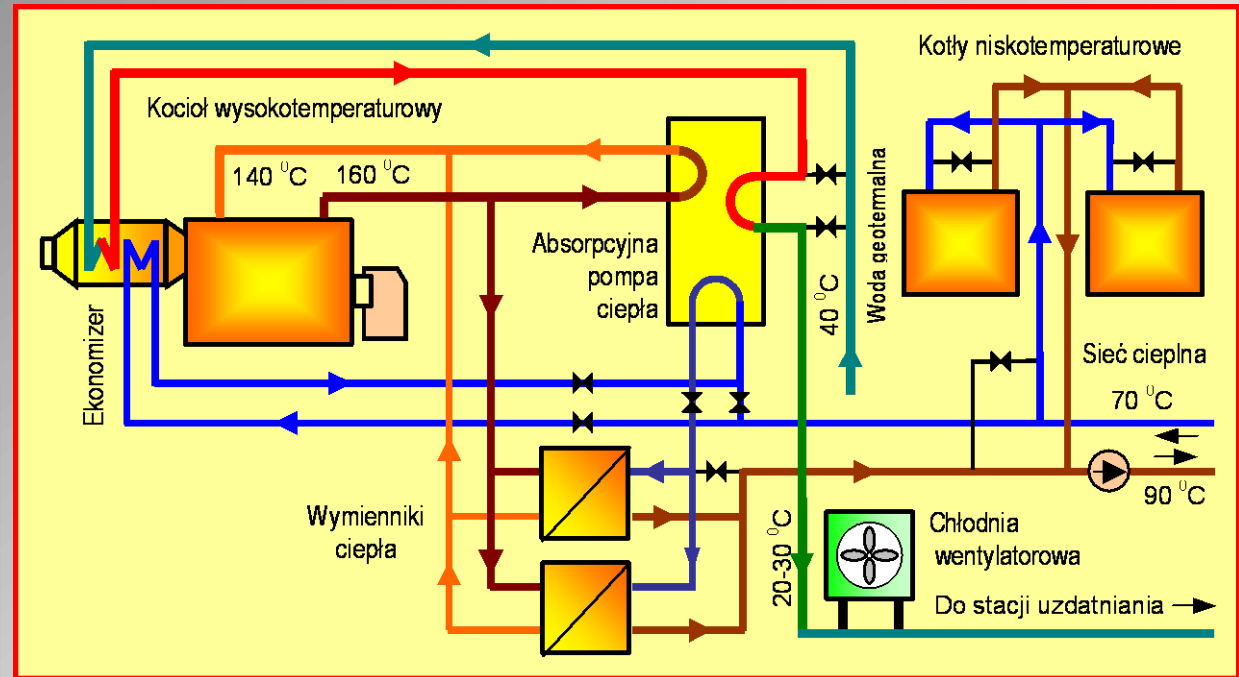
Zależność temperatury wody sieciowej od temperatury otoczenia t_z - założenia

Temperatura wody sieciowej w instalacji wewnętrznej budynków w funkcji temperatury zewnętrznej

Zależność temperatury wody sieciowej od temperatury otoczenia t_z :
wartości dla sezonu grzewczego 1997/98

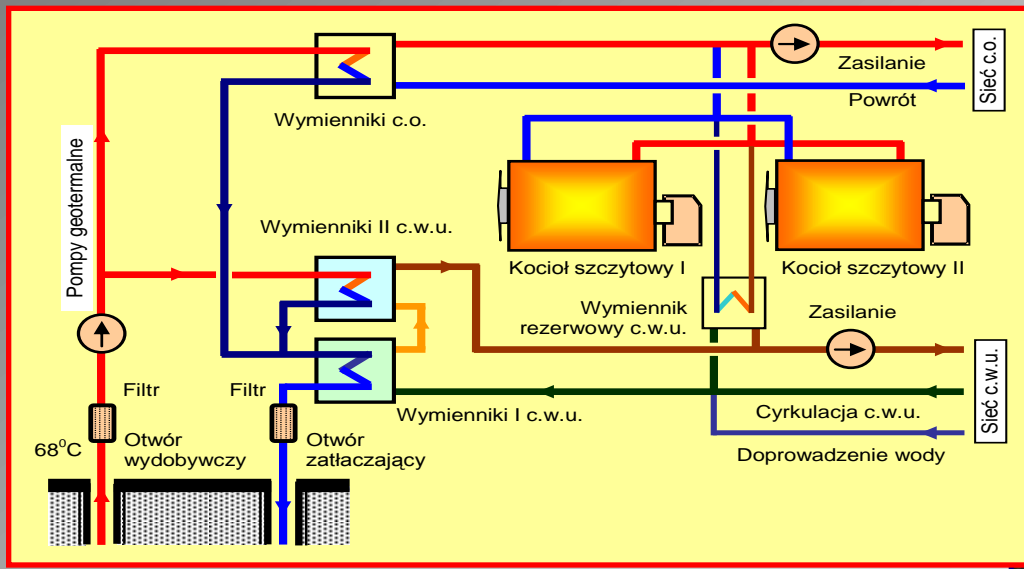


Geotermia Mszczonów – 1999 r.



- temperatura: 40°C,
- wydajność: 60 m³/h,
- mineralizacja: 0,5 g/dm³
- gł. złoża: 1600 m
- moc całkowita: 12 MW

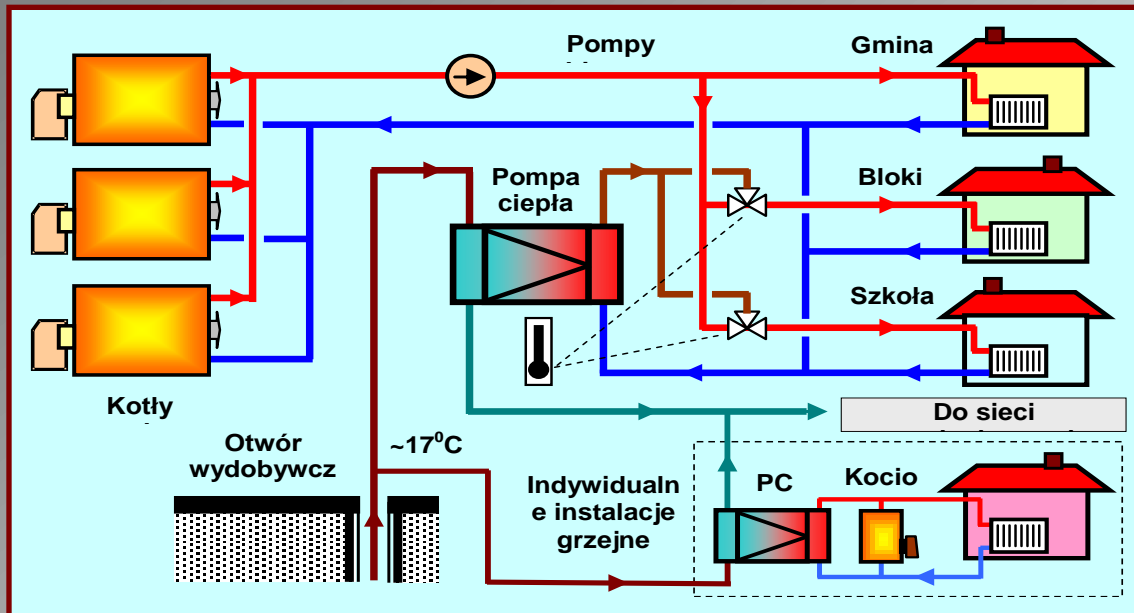
Geotermia Uniejów – 2001 r.



- temperatura: 67-70°C
- wydajność: 68 m³/h
- mineralizacja: ~7 g/dm³
- gł. złoża: 1600 m
- moc całkowita: 12 MW

Geotermia

Słomniki – 2002 r.

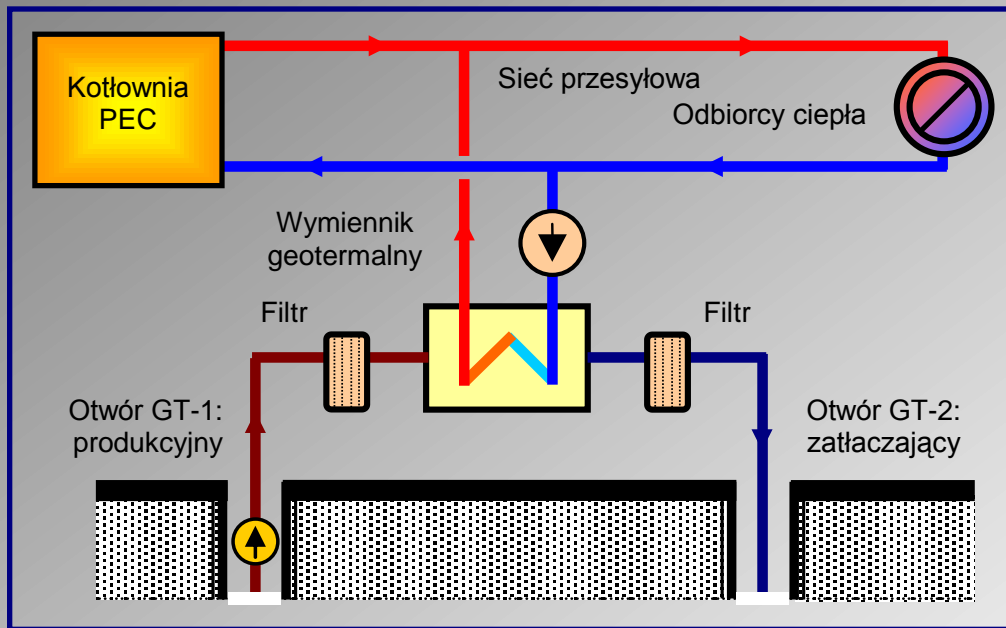


- temperatura: 40°C ,
- wydajność: $60 \text{ m}^3/\text{h}$,
- mineralizacja: $0,5 \text{ g}/\text{dm}^3$

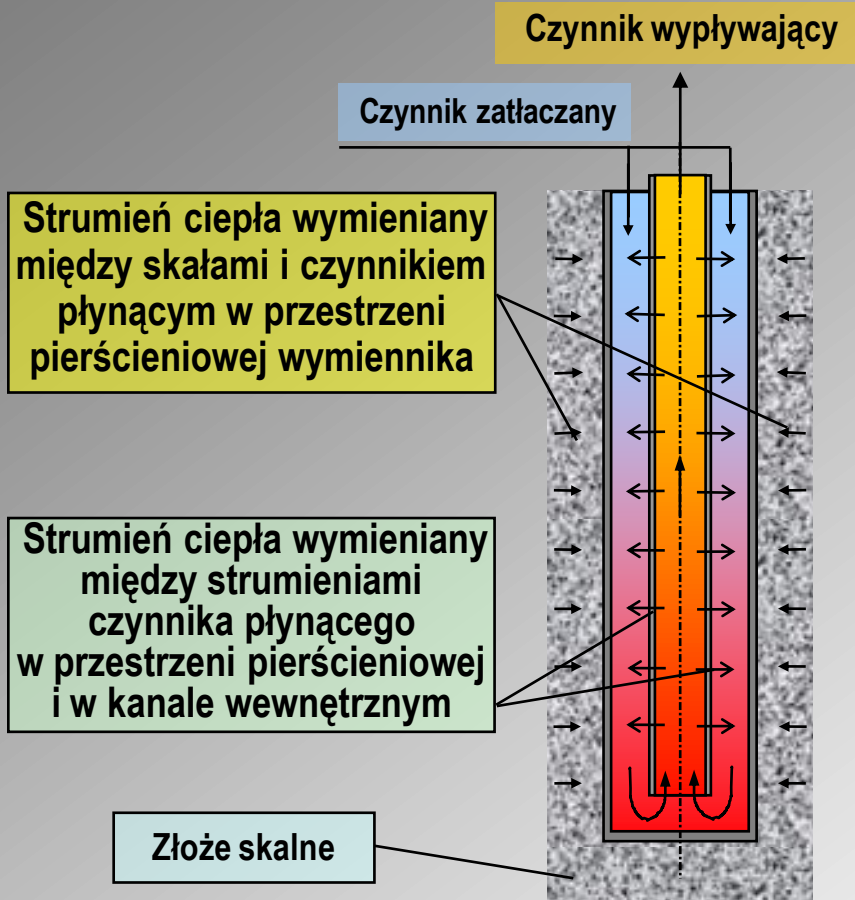


Geotermia

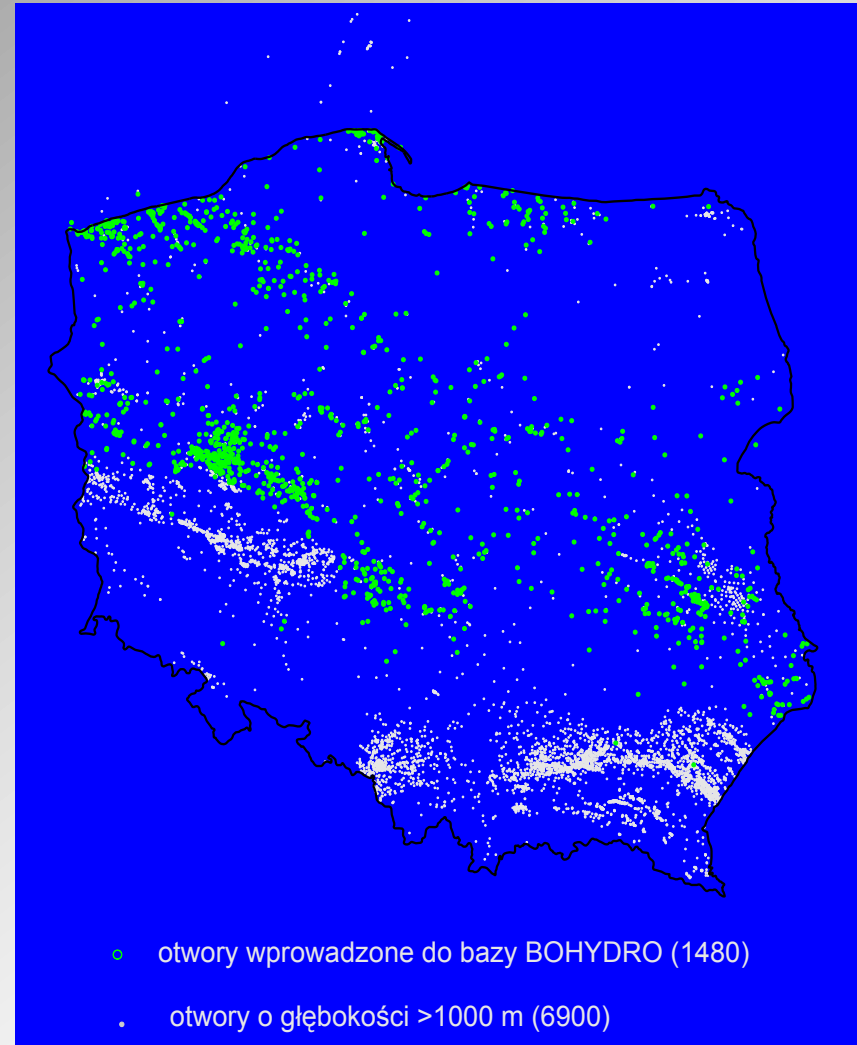
Stargard Szczeciński – 2006 r



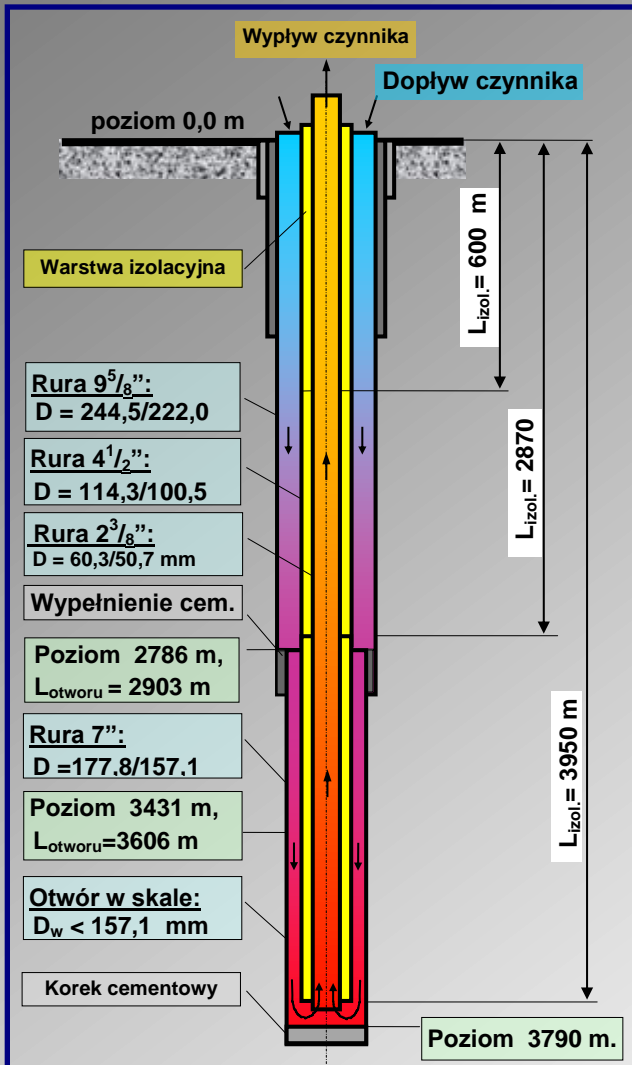
Pionowe głębokie wymienniki geotermiczne



Głębokie odwierty istniejące na terenie Polski ➔



Jachówka K-2: Głęboki pionowy wymiennik geotermiczny (projekt)



ENERGIA MOŻLIWA DO POZYSKANIA - WYMIENNIK L = 3950m (izolacja powietrzna kanału wewnętrznego)

T1	T2	V	Ilość energii geotermicznej możliwej do uzyskania Q							
			24 h	1 Rok	10 Lat	30 Lat	24 h	1 Rok	10 Lat	30 Lat
°C	°C	m ³ /h	GJ	GJ	GJ	GJ	t.p.u.	t.p.u.	t.p.u.	t.p.u.
10	86,30	2	15	5257	52570	157709	$511 \cdot 10^{-3}$	179	$179 \cdot 10$	$538 \cdot 10$
15	86,41	2	14	4915	49145	147436	$478 \cdot 10^{-3}$	168	$168 \cdot 10$	$503 \cdot 10$
20	86,52	2	13	4578	45782	137345	$445 \cdot 10^{-3}$	156	$156 \cdot 10$	$469 \cdot 10$
25	86,63	2	12	4236	42364	127093	$412 \cdot 10^{-3}$	145	$145 \cdot 10$	$434 \cdot 10$
10	66,72	10	56	19704	197043	591130	$192 \cdot 10^{-2}$	673	$673 \cdot 10$	$202 \cdot 10^2$
15	67,28	10	52	18142	181424	544271	$176 \cdot 10^{-2}$	619	$619 \cdot 10$	$186 \cdot 10^2$
20	67,84	10	47	16584	165836	497507	$161 \cdot 10^{-2}$	566	$566 \cdot 10$	$170 \cdot 10^2$
25	68,39	10	43	15042	150424	451271	$146 \cdot 10^{-2}$	513	$513 \cdot 10$	$154 \cdot 10^2$
10	48,32	20	76	26745	267451	802353	$260 \cdot 10^{-2}$	913	$913 \cdot 10$	$274 \cdot 10^2$
15	49,90	20	69	24338	243383	730150	$237 \cdot 10^{-2}$	831	$831 \cdot 10$	$249 \cdot 10^2$
20	51,50	20	63	21948	219483	658450	$213 \cdot 10^{-2}$	749	$749 \cdot 10$	$225 \cdot 10^2$
25	53,08	20	56	19545	195449	586346	$190 \cdot 10^{-2}$	667	$667 \cdot 10$	$200 \cdot 10^2$
10	38,57	30	85	29998	299981	899943	$292 \cdot 10^{-2}$	$102 \cdot 10$	$102 \cdot 10^2$	$307 \cdot 10^2$
15	40,88	30	77	27148	271481	814443	$264 \cdot 10^{-2}$	927	$927 \cdot 10$	$278 \cdot 10^2$
20	43,19	30	69	24300	242998	728994	$236 \cdot 10^{-2}$	829	$829 \cdot 10$	$249 \cdot 10^2$
25	45,49	30	61	21453	214534	643601	$209 \cdot 10^{-2}$	732	$732 \cdot 10$	$220 \cdot 10^2$

Podsumowanie

- **Energia geotermalna wykorzystywana jest w kilkudziesięciu krajach świata do celów grzewczych, przemysłowych, rekreacyjnych i balneologicznych.**
- **Polska posiada znaczne zasoby wód geotermalnych o średniej entalpii. Wody te są dostępne na obszarze prawie całego kraju.**
- **Najbardziej sprzyjające warunki dla pozyskiwania energii geotermalnej występują w rejonie szczecińsko-łódzkim, a także na Podhalu.**
- **Możliwości pozyskiwania energii geotermalnej istnieją również w innych rejonach Polski.**
- **Istniejące w Polsce instalacje pokazują możliwość praktycznego wykorzystania energii wód geotermalnych.**
- **Istnieje również możliwość wykorzystania wód geotermalnych do wytwarzania energii elektrycznej.**

Perspektywy ?

Doświadczenia ?

Dziękuję za uwagę