



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**



**POLSKA GEOTERMALNA ASOCJACJA
IM. PROF. JULIANA SOKOŁOWSKIEGO**

Własność polskiej ziemi podstawą ciepłej i elektrycznej energii geotermicznej

Opracowanie:

prof. dr hab. inż. Jacek Zimny, przewodniczący PGA

mgr inż. Sebastian Bielik

**Katedra Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska Wydział Inżynierii
Mechanicznej i Robotyki, AGH**

Komentarz:

Mgr inż. Piotr Kosiński, Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie

zaprezentowane w Oławie, dn. 30.05.2014



Motto:

„ ... W perspektywie wiary ziemia nie jest nieograniczonym rezerwuarem zasobów, które można eksploatować bez końca, lecz również częstką Misterium Stworzenia, z którego nie tylko wolno korzystać, ale któremu należy się nasz podziw i szacunek... ”

„ ... Piękno tej ziemi skłania mnie do wołania o jej zachowanie dla przyszłych pokoleń. Jeśli kochacie tę ojczystą ziemię, niech to wołanie nie pozostanie bez odpowiedzi! ... ”

Św. Jan Paweł II

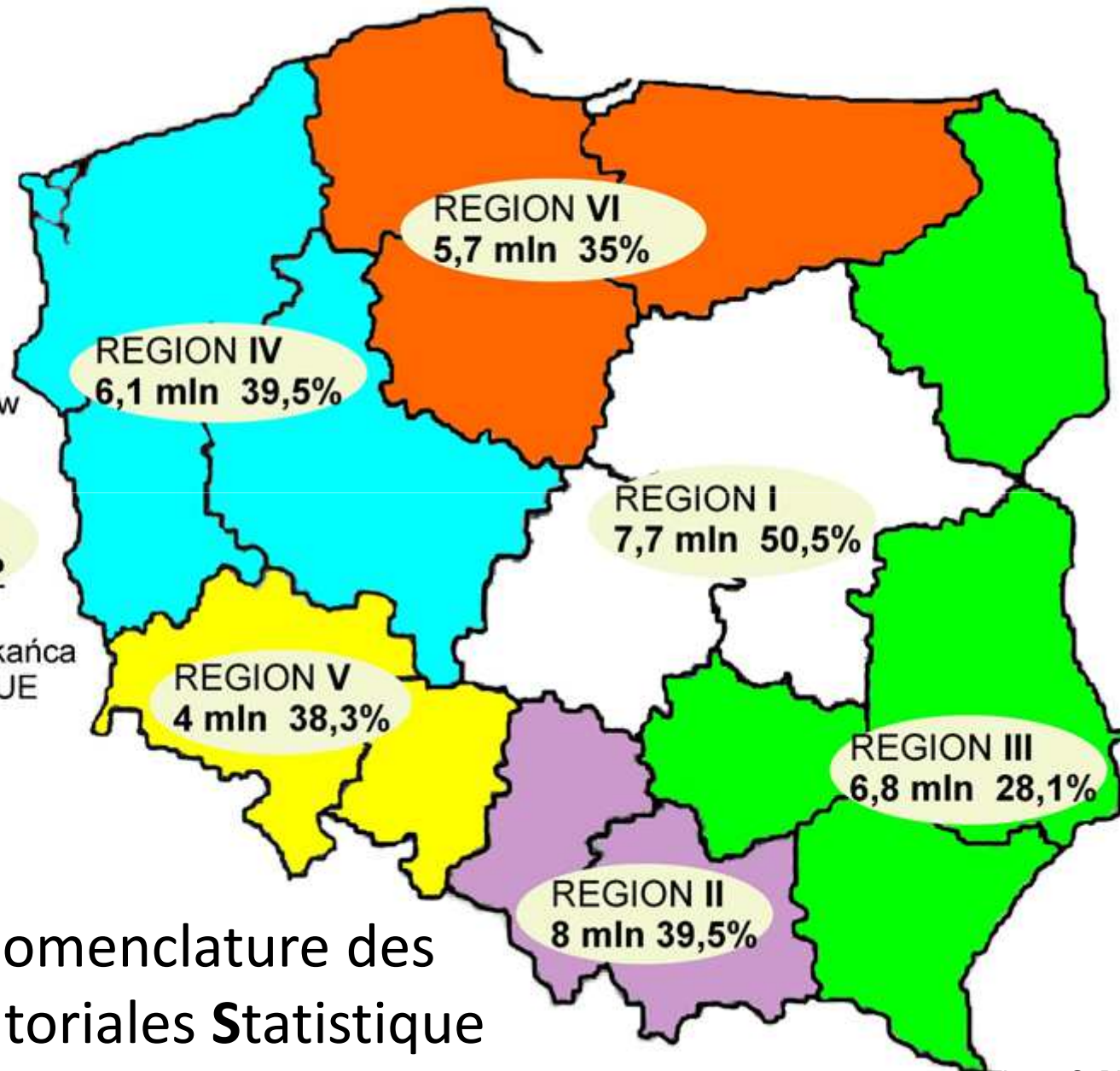
Nowy podział Polski wg. UE

NUTS (odpowiedniki landów) mają w teorii służyć wyrównaniu szans w rozwoju obszarów (PK)

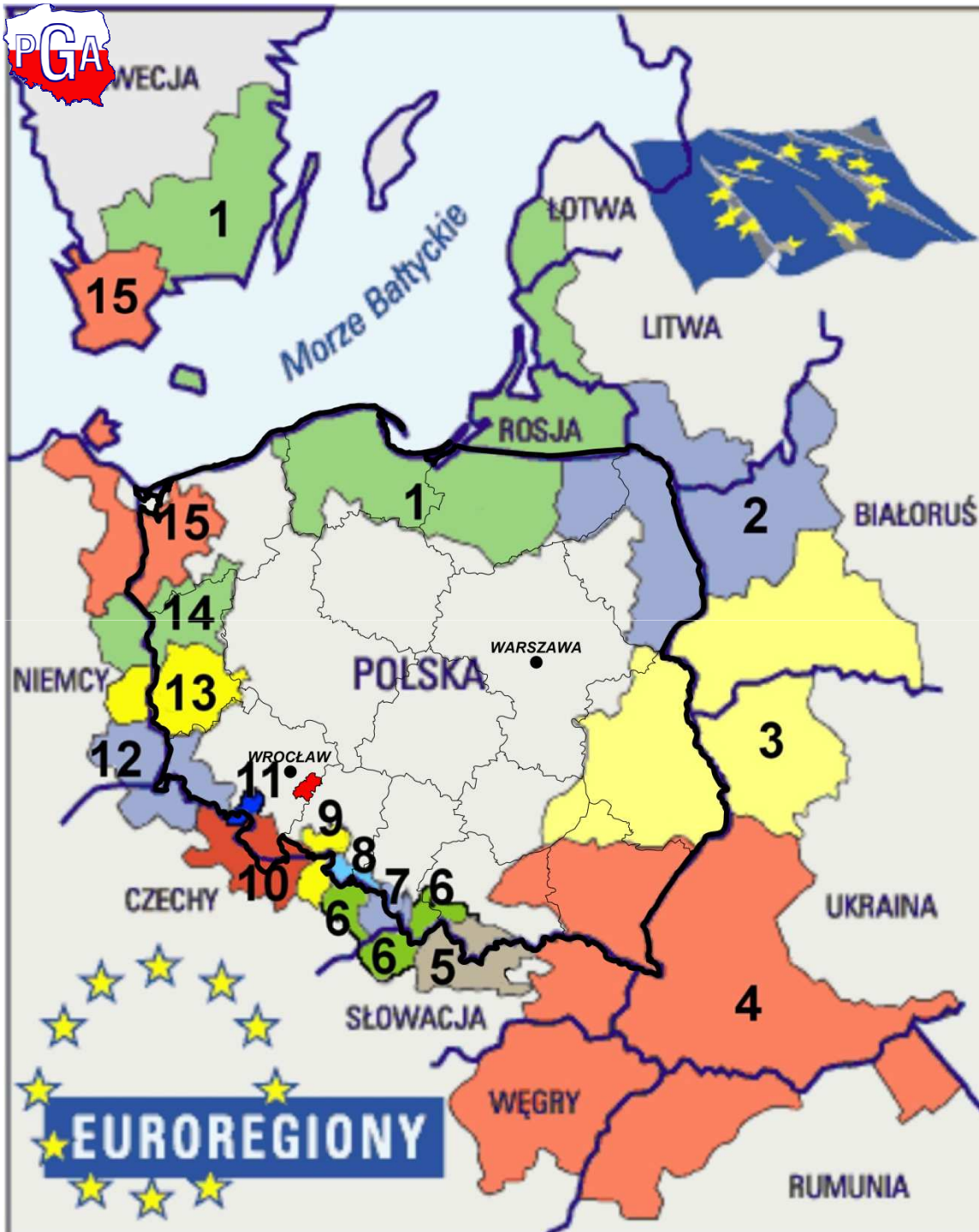
Liczba mieszkańców w regionie

REGION I
7,7 mln 50,5%

PKB na 1 mieszkańca w porównaniu z UE



NUTS - fr. **Nomenclature des Unites Territoriales Statistique**



Lokalizacja Euroregionów w Polsce

1. Bałtyk
2. Niemen
3. Bug
4. Karpaty
5. Tatry
6. Beskidy
7. Śląsk Cieszyński
8. Silesia
9. Pradziad
10. Glacensis
11. Dobrava
12. Nysa
13. Sprewa-Nysa-Bóbr
14. Viadrina
15. Pomerania

Euroregiony mają służyć niwelacji różnic gospod. między sąsiednimi krajami, wspólne projekty, wspólne finansowanie, którego głównym beneficjentem jest zawsze silniejszy kraj (PK)



Definicja

Bezpieczeństwo Energetyczne Kraju (BEK)

$$BEK = \frac{\sum \text{zapotrzebowanie_kraju_na_energię}}{\sum \text{produkcja_energii_danego_kraju}} [\%]$$

Za bezpieczeństwo energetyczne (BEK)
odpowiadają organy państwa!



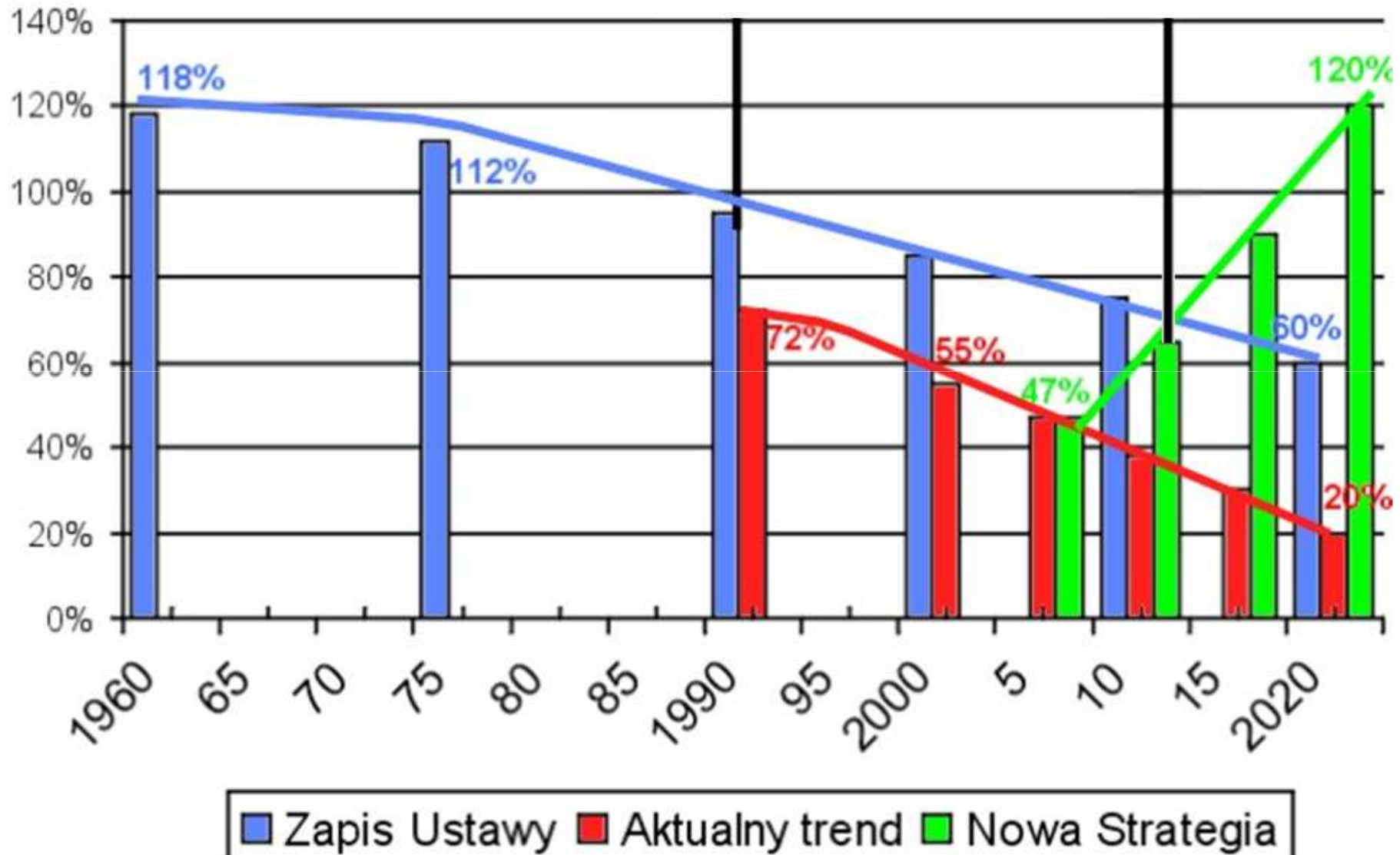
Miarą bezpieczeństwa energetycznego kraju jest:

Wskaźnik Samowystarczalności Energetycznej kraju (WSE)

$$WSE = \frac{\sum \text{energia_pierwotna_pozyskana_w_kraju}}{\sum \text{energia_pierwotna_zuzyta_w_kraju}} [\%]$$



Bezpieczeństwo energetyczne Polski





Potencjał energetyczny Polski

Energia geotermalna do 3 km głębokości-

625 000 PJ/rok – 99% OZE

Energia biomasy

500 PJ/rok

zasobów polskich OZE
(PK)

Energia słoneczna

300 PJ/rok

Energia wiatru

150 PJ/rok

Energia wodna

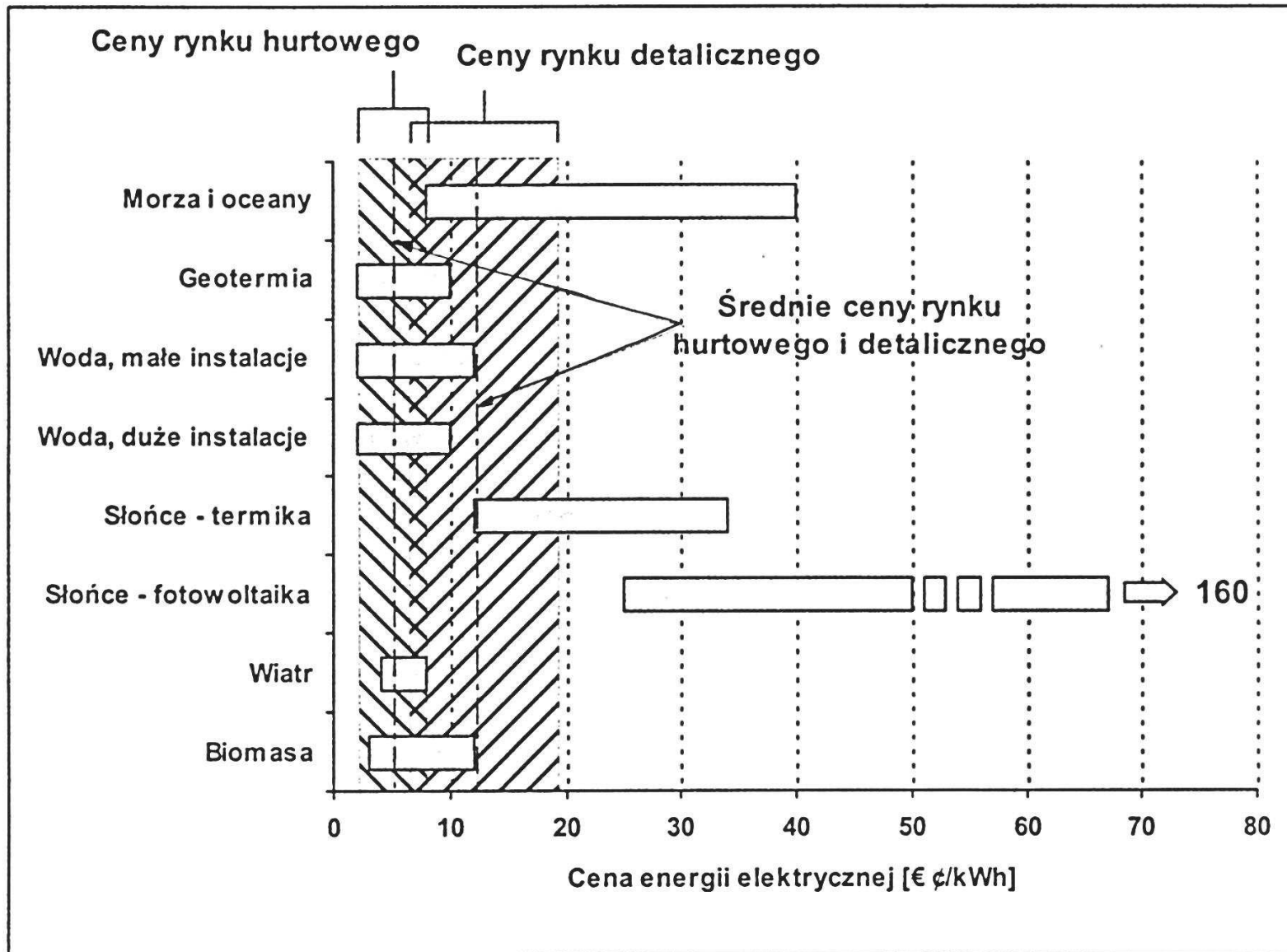
40 PJ/rok

RAZEM ok. ~ 626 000 PJ/rok (2008r.)

Średnie zapotrzebowanie kraju – 4 200 PJ/rok



Struktura kosztów produkcji energii elektrycznej z OZE w stosunku do cen rynkowych energii ze spalania

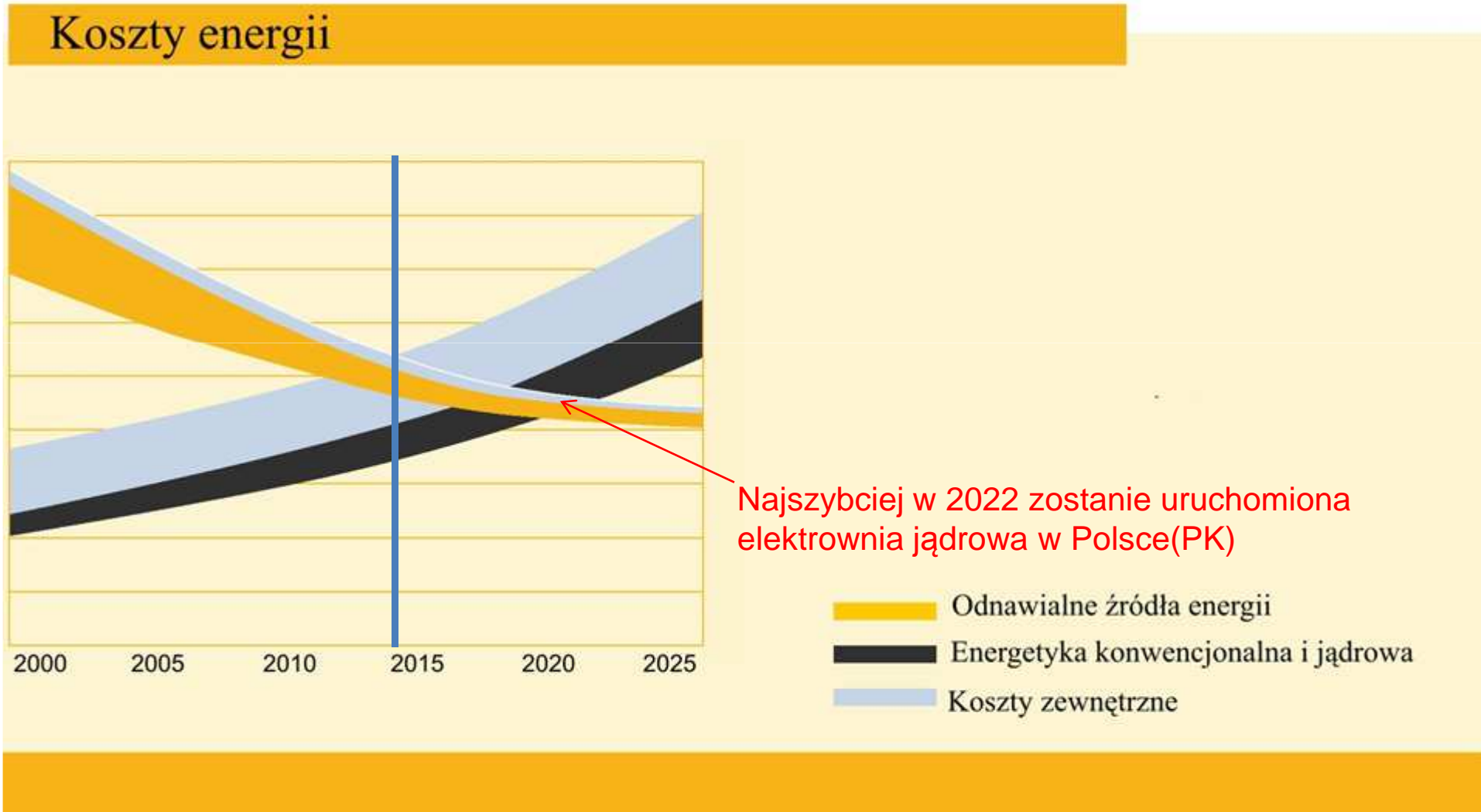


Źródło: opracowanie własne, na podstawie danych: EUROSTAT, IEA, World Bank itd.

9/39

J. Zimny, S. Bielik, PGA

Koszty wytwarzania energii





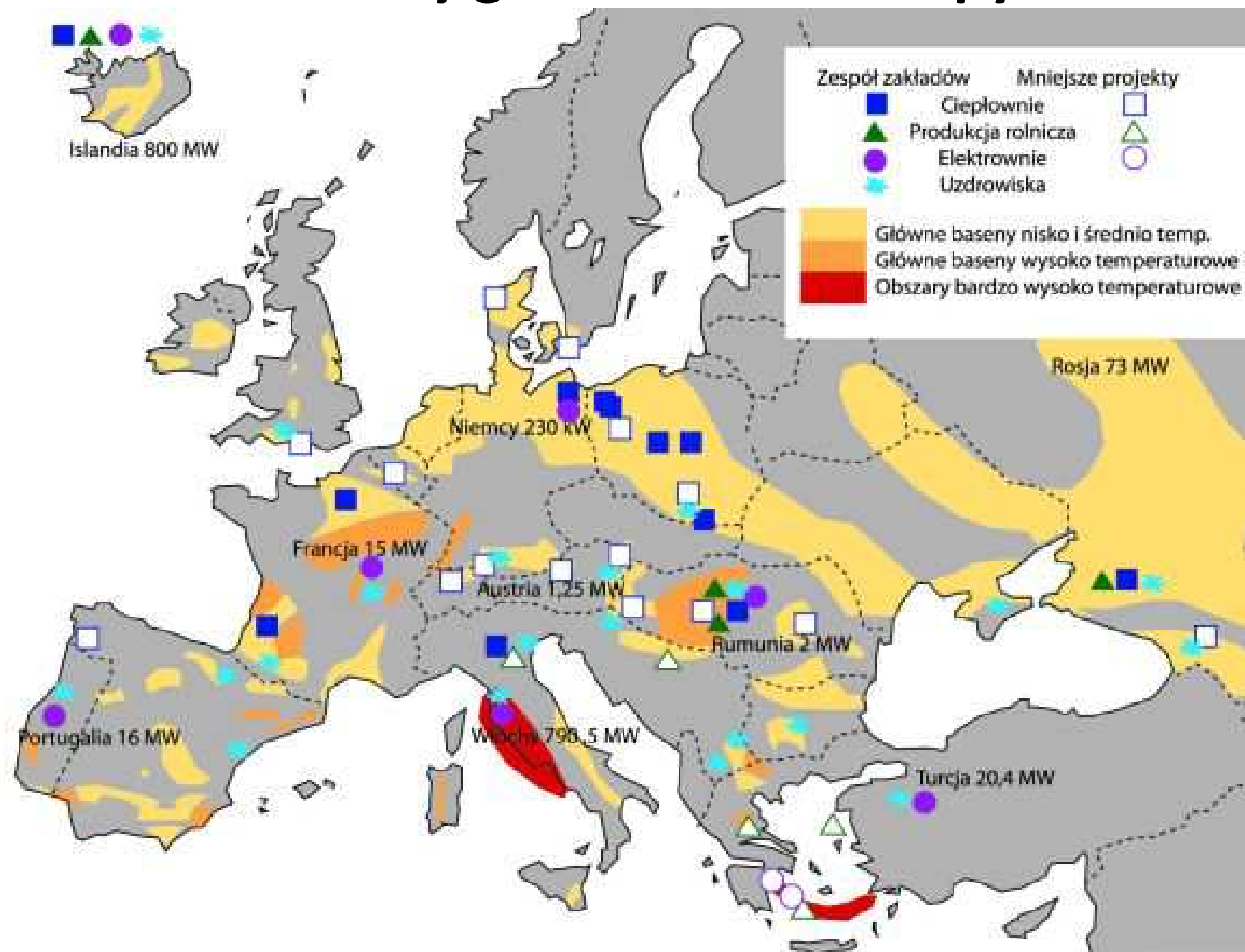
Charakterystyka technologii OZE

Technologia	Zwiększenie produkcji w ostatnich pięciu latach (%/rok)	Moc eksploatacyjna, koniec 2001	Współczynnik wykorzystania mocy (%)	Produkcja energii w roku 2001	Koszt inwestycyjny „pod klucz” (2001 USD/kW)	Aktualny koszt produkcji energii	Potencjalny, przyszły koszt produkcji energii
Energia z biomasy							
Energia elektryczna	~ 2,5	~ 40 GW (e)	25-80	~ 170 TWh (e)	500 - 6 000	3 - 12 ¢/kWh	4 - 10 ¢/kWh
Ciepło	~ 2,0	~ 210 GW (th)	25-80	~ 730 TWh (th)	170 - 1 000	1 - 6 ¢/kWh	1 - 5 ¢/kWh
Biopaliwa ciekłe							
Etanol	~ 2,0	~ 19*10 ⁹ litrów		~ 450 PJ		(8 - 25 \$/GJ)	(6 - 10 \$/GJ)
Bio-diesel	~ 1,0	~ 1,2*10 ⁹ litrów		~ 45 PJ		(15 - 25 \$/GJ)	(10 - 15 \$/GJ)
Energia elektryczna z wiatru	~ 30,0	23 GW (e)	20 - 40	43 TWh (e)	850 - 1 700	4 - 8 ¢/kWh	3 - 10 ¢/kWh
Energia elektryczna, słoneczna - źródła fotowoltaiczne	~ 30,0	1,1 GW (e)	6 - 20	1 TWh (e)	5 000 - 18 000	25-160 ¢/kWh	5 lub 6 - 25 ¢/kWh
Energia elektryczna, słoneczna - źródła termiczne	~ 2,0	0,4 GW (e)	20 - 35	0,9 TWh (e)	2 500 - 6 000	12 - 34 ¢/kWh	4 - 20 ¢/kWh
Energia ciepła, słoneczna - niskotemperaturowa	~ 10,0	57 GW (th) (95*10 ⁶ m ²)	8 - 20	57 TWh (th)	300 - 1 700	2 - 25 ¢/kWh	2 - 10 ¢/kWh
Energia elektryczna z wody							
Instalacje duże	~ 2,0	690 GW (e)	35 - 60	2 600 TWh (e)	1 000 - 3 500	2 - 10 ¢/kWh	2 - 10 ¢/kWh
Instalacje małe	~ 3,0	25 GW (e)	20 - 90	100 TWh (e)	700 - 8 000	2 - 12 ¢/kWh	2 - 10 ¢/kWh
Energia geotermalna							
Energia elektryczna	~ 3,0	8 GW (e)	45 - 90	53 TWh (e)	800 - 3 000	2 - 10 ¢/kWh	1 lub 2 - 8 ¢/kWh
Ciepło	~ 10,0	16 GW (th)	20 - 70	55 TWh (th)	200 - 2 000	0,5 - 5 ¢/kWh	0,5 - 5 ¢/kWh
Energia z morza							
Zapory pływowe	0	0,3 GW (e)	20 - 30	0,6 TWh (e)	1 700 - 2 500	8 - 15 ¢/kWh	8 - 15 ¢/kWh
Przypływy	---	Faza eksperymentów	20 - 35	0	2 000 - 5 000	10 - 30 ¢/kWh	5 - 10 ¢/kWh
Prądy pływowe / przepływowe	---	Faza eksperymentów	25 - 40	0	2 000 - 5 000	10 - 25 ¢/kWh	4 - 10 ¢/kWh
OTEC	---	Faza eksperymentów	70 - 80	0	8 000 - 20 000	15 - 40 ¢/kWh	7 - 20 ¢/kWh

(*) Energia ciepła skumulowana w parze (lub gorącej wodzie, dla ciepłownictwa), najczęściej produkowanej w systemach skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła, przy wykorzystaniu odpadów leśnych lub rolnych (słoma, trzcina cukrowa itp.).

OTEC - Ocean thermal energy conversion (Przetwarzanie energii termicznej (cieplnej) oceanu).

Zasoby geotermalne Europy

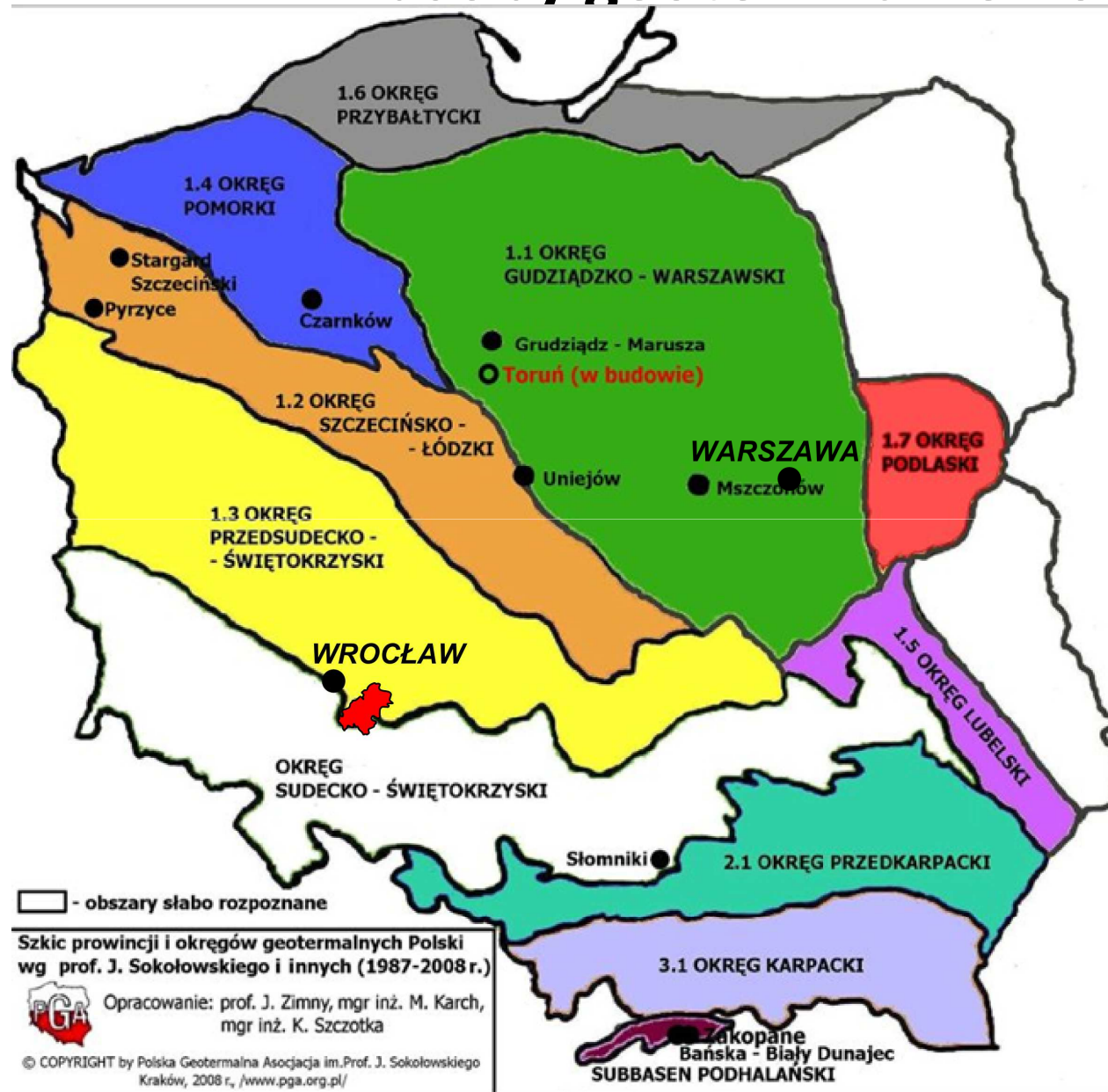




Porównanie potencjału geenergetycznego Niemiec i Polski

Obszar geotermalny	Liczba mieszkańców/ powierzchnia geotermalna [os./km ²]	Teoretyczny potencjał geotermalny (ARB) =DZG [EJ] =10 ¹⁸ J	Techniczny potencjał geotermalny (0,5-2% ARB) [PJ] =10 ¹⁵ J	Roczny potencjał geotermalny (50lat) [PJ/rok/50lat]	Zapotrzebow. energetyczne krajowe (2004) [PJ]	Krotność: techn. poten. geot./Zapotrzeb. roczne (4):(6)	Źródła Danych
1	2	3	4	5	6	7	8
Niemcy (D)	90mln/125 000 =720	a) 42 000 (3km)	a) 198 000 (3km) (0,5% ARB)	a) 3 960	15 600	a) 13	[14,15]
Polska (PL)	36mln/250 000 =144	a) 73 000 b) 200 000 c) 387 000	a) 625 000 (3km) (0,8% ARB) b) 2 000 000 (5 km) c) 3 870 000 (7 km)	a) 14 600 b) 40 000 c) 77 400	4 000	a) 156 182 b) 500 c) 967	[1,6,7,8, 11,12]
	PL:D =0,2 D:PL=5	PL:D=1,73 4,76 9,21	PL:D= 3,7 10,1 11,5	PL:D= 3,7 10,1 11,5	PL:D= 0,26	PL:D=14	13/39

Zasoby geotermiczne Polski



Szczegółowy opis polskich zasobów geotermalnych w książkach:

- Polska XXI wieku (prof. J. Sokołowski, prof. J. Zimny, prof. R. H. Kozłowski,)
- Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym (prof. J. Zimny)

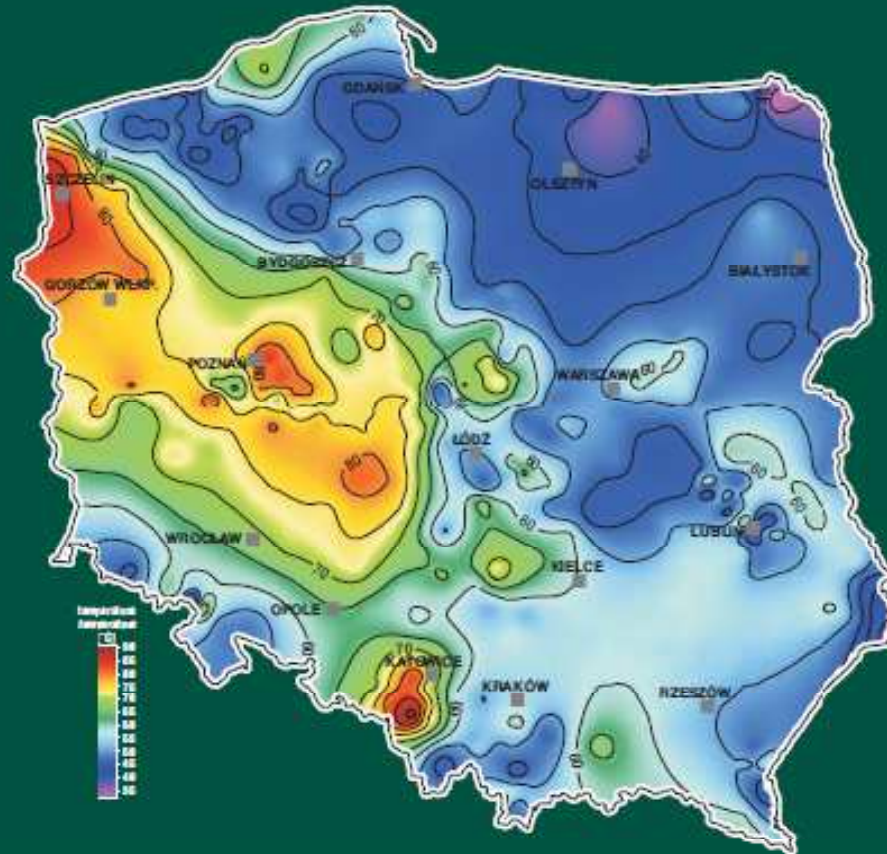
www.pga.org.pl

(PK)



MINISTERSTWO
ŚRODOWISKA

przegląd GEOLOGICZNY



GEOTERMIA W POLSCE



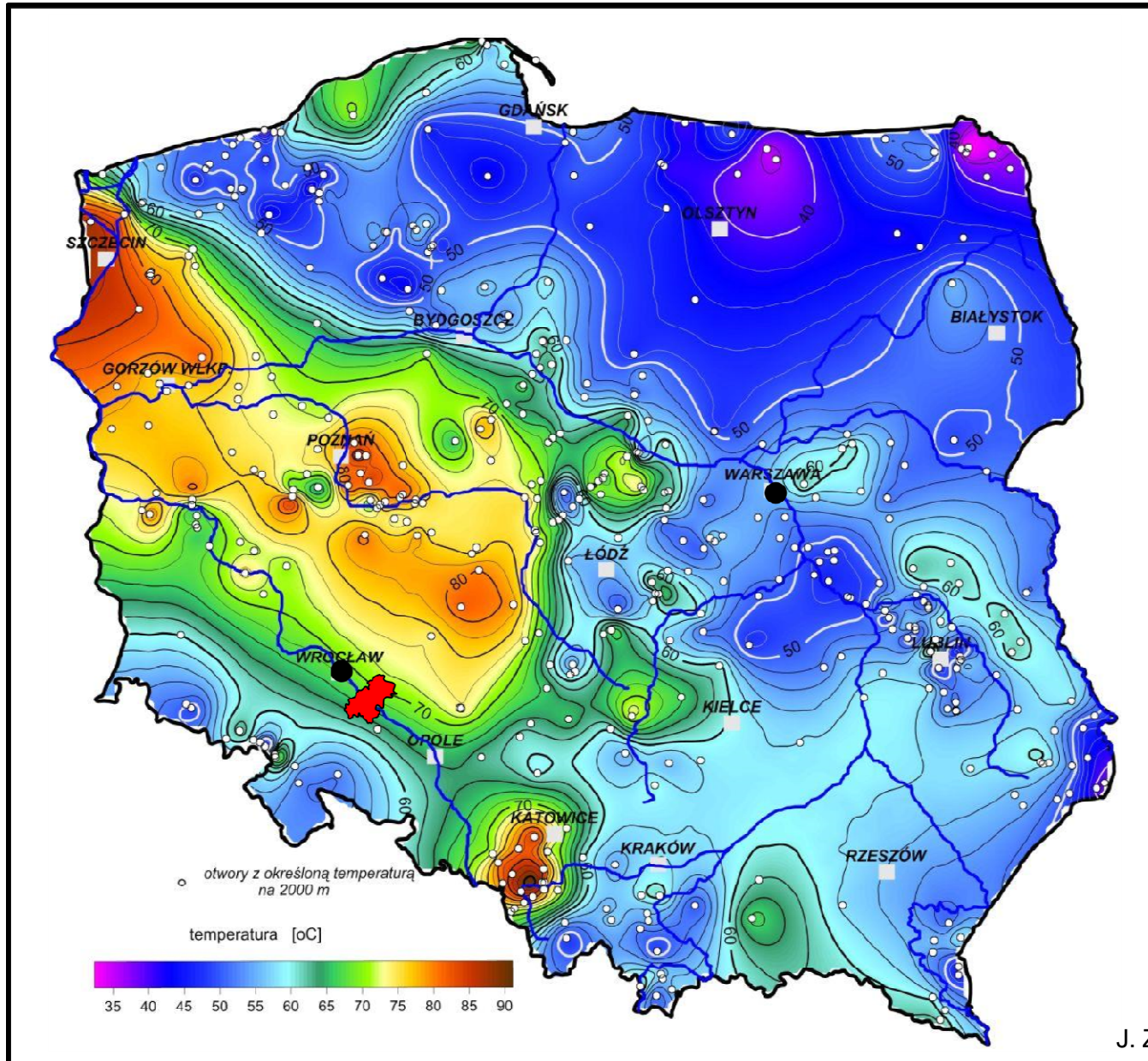
TOM 58 • NR 7 (LIPIEC) • 2010

Cena 12,00 zł
(w tym 0% VAT)

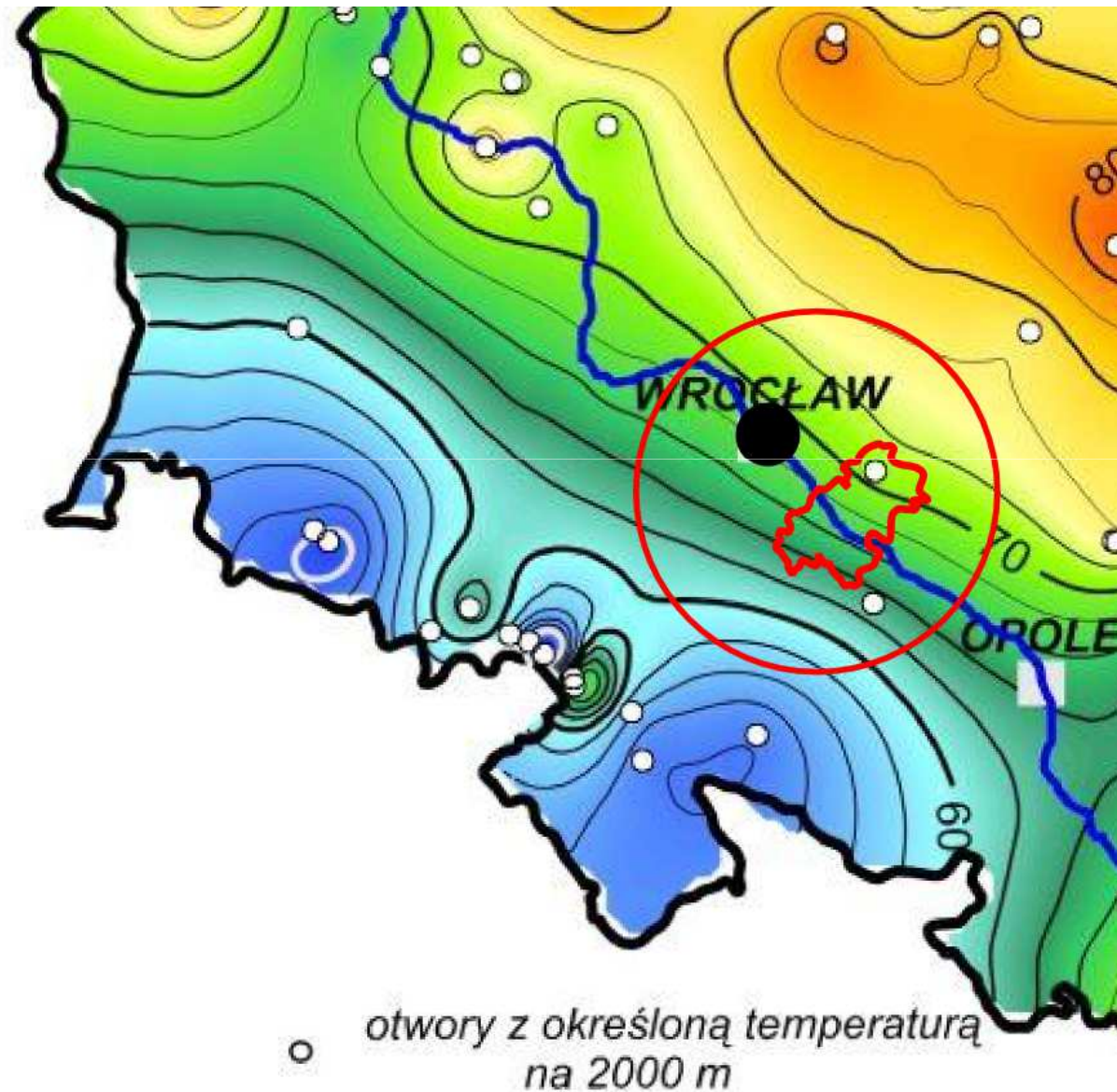
Indeks 370908
ISSN-0033-2151



Mapa temperatur Polski, 2000m

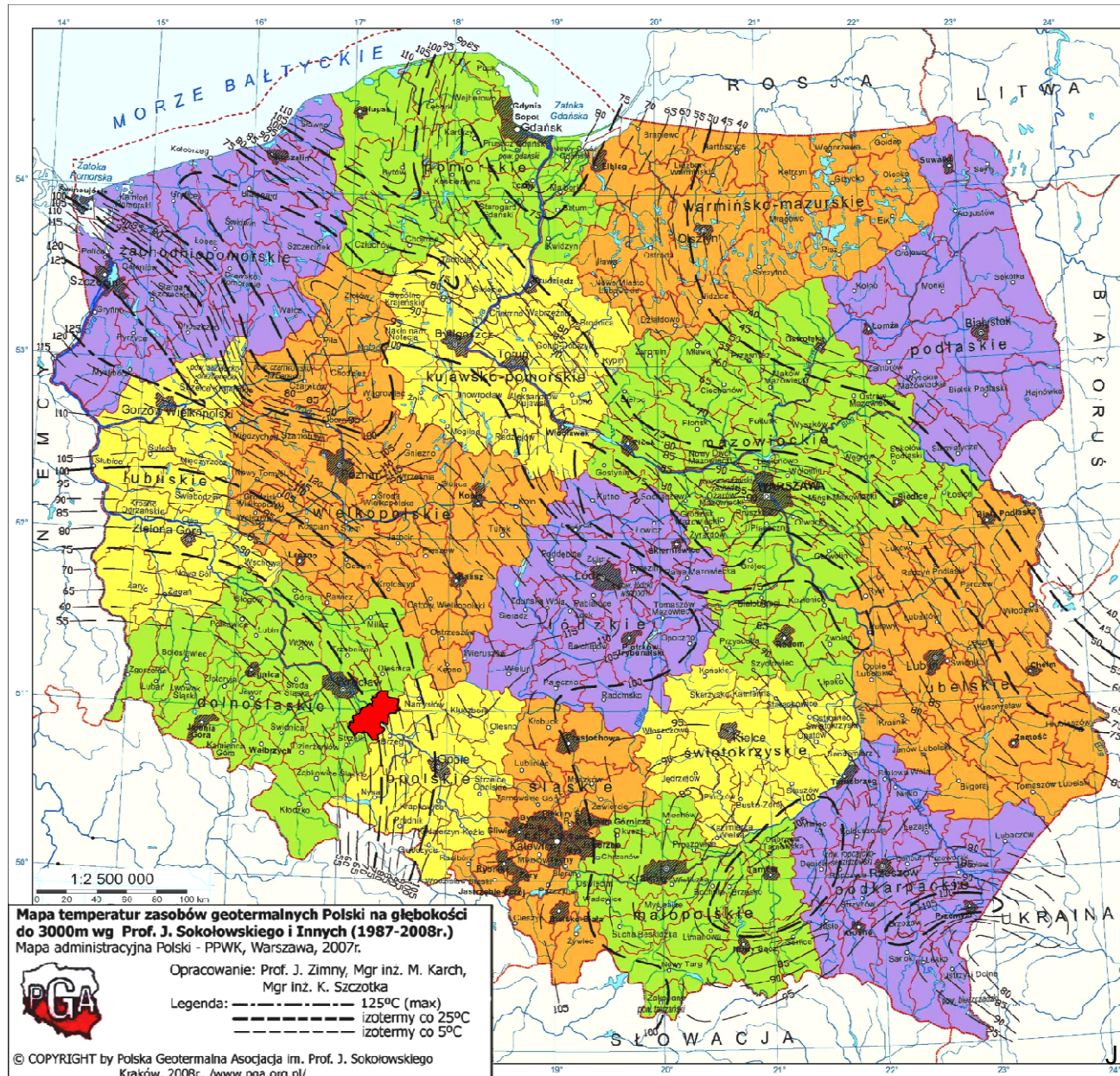


Mapa temperatur Polski, 2000m

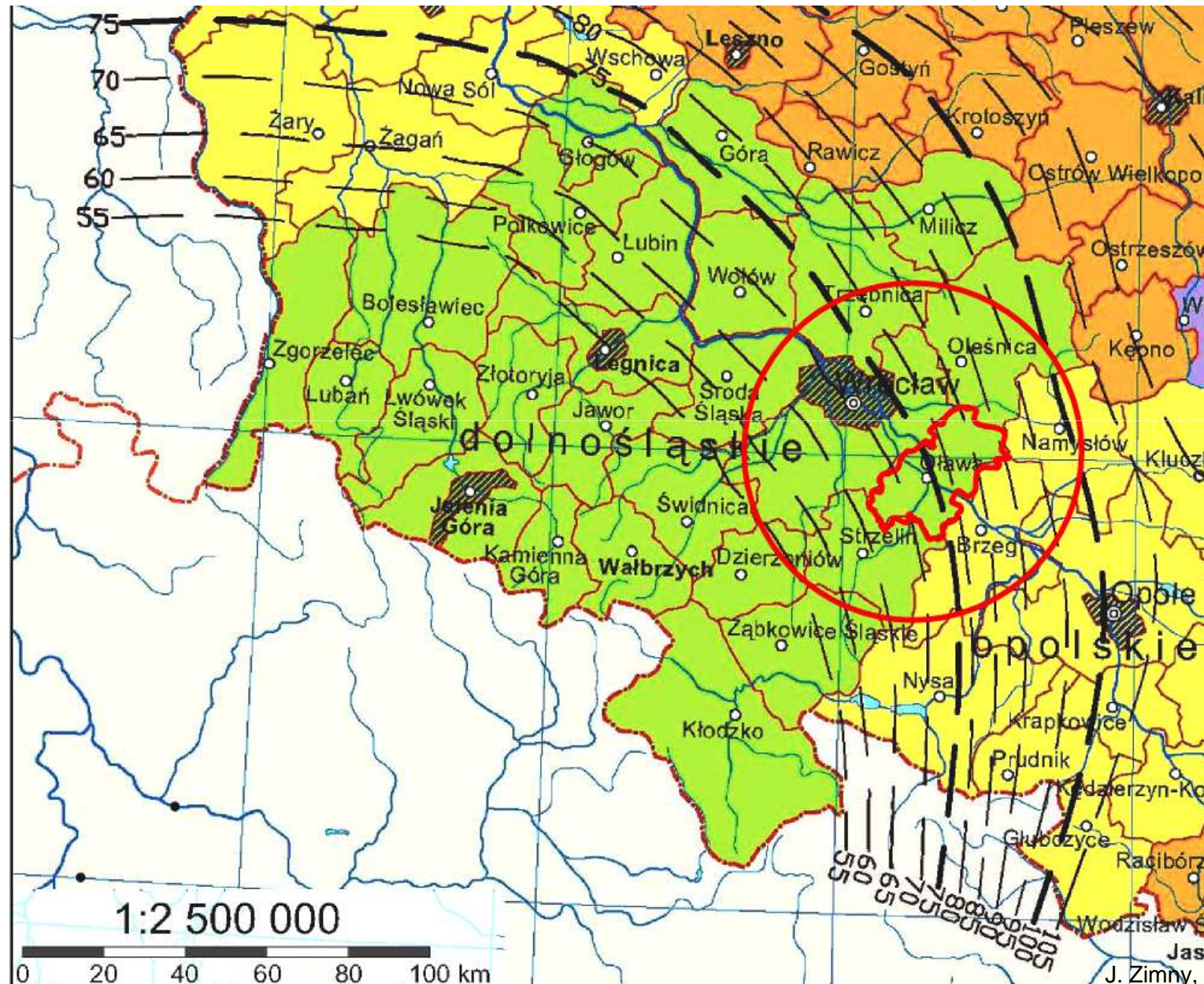




Mapa temperatur Polski, 3000m

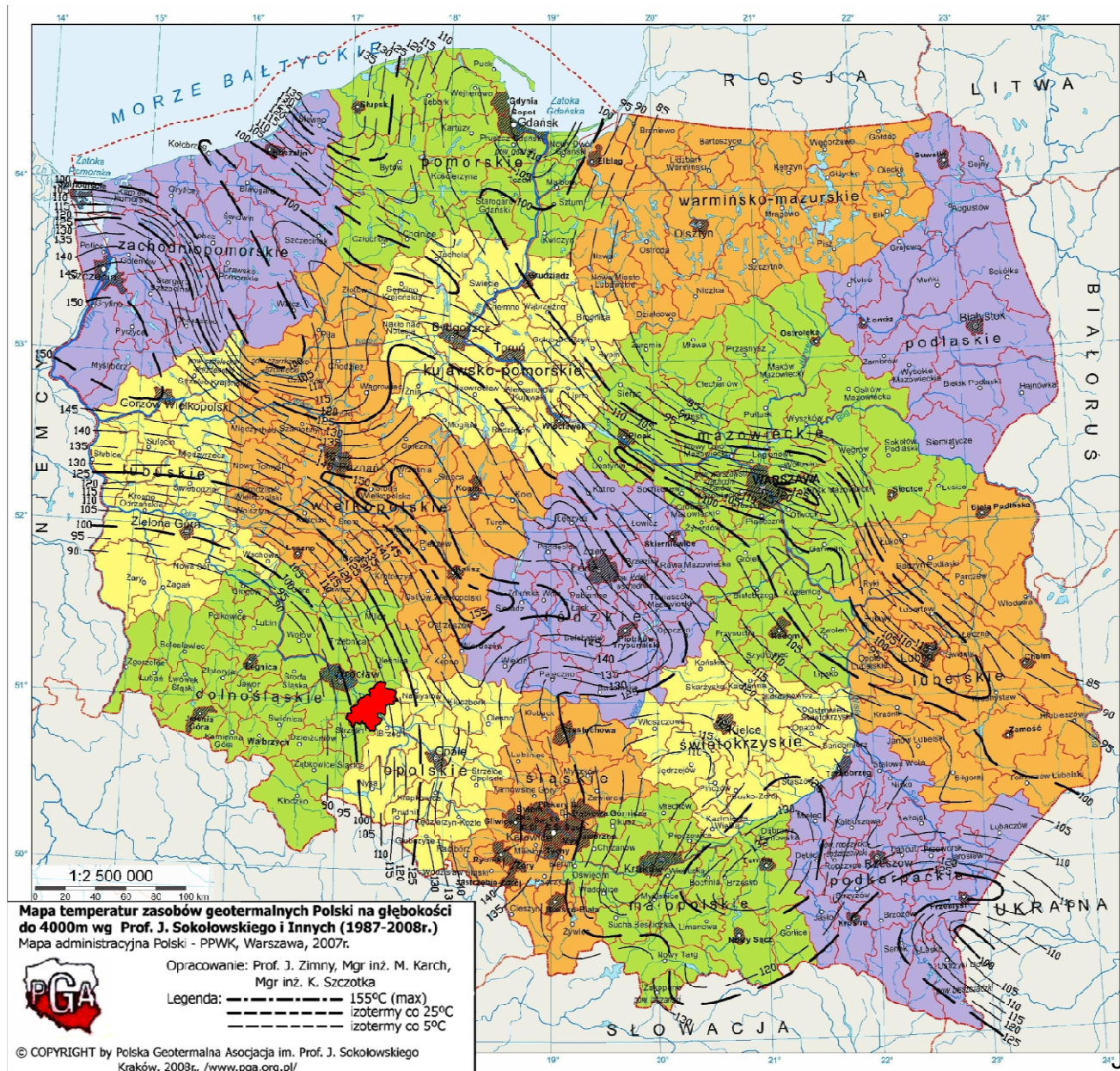


Mapa temperatur Polski, 3000m

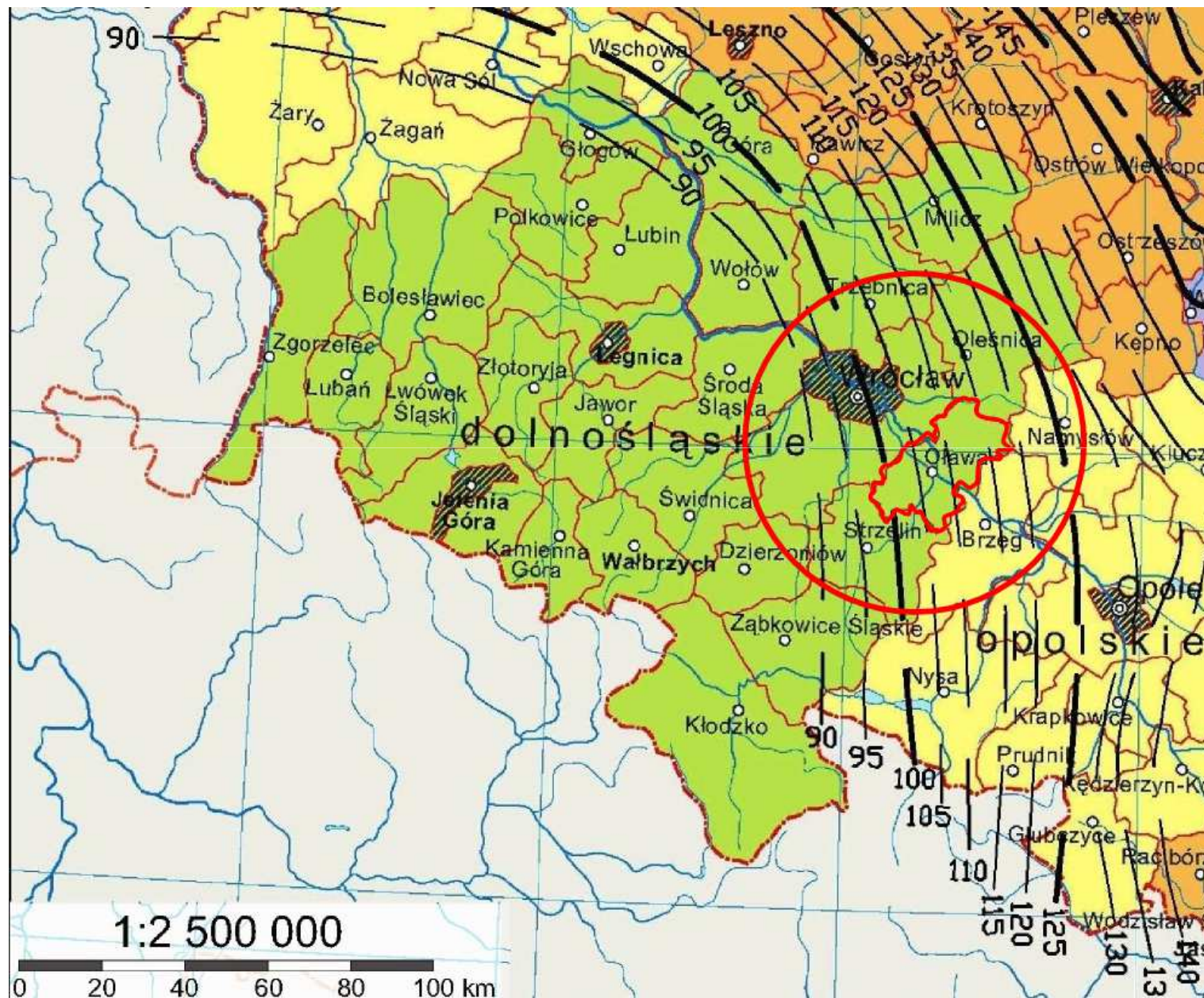




Mapa temperatur Polski, 4000m



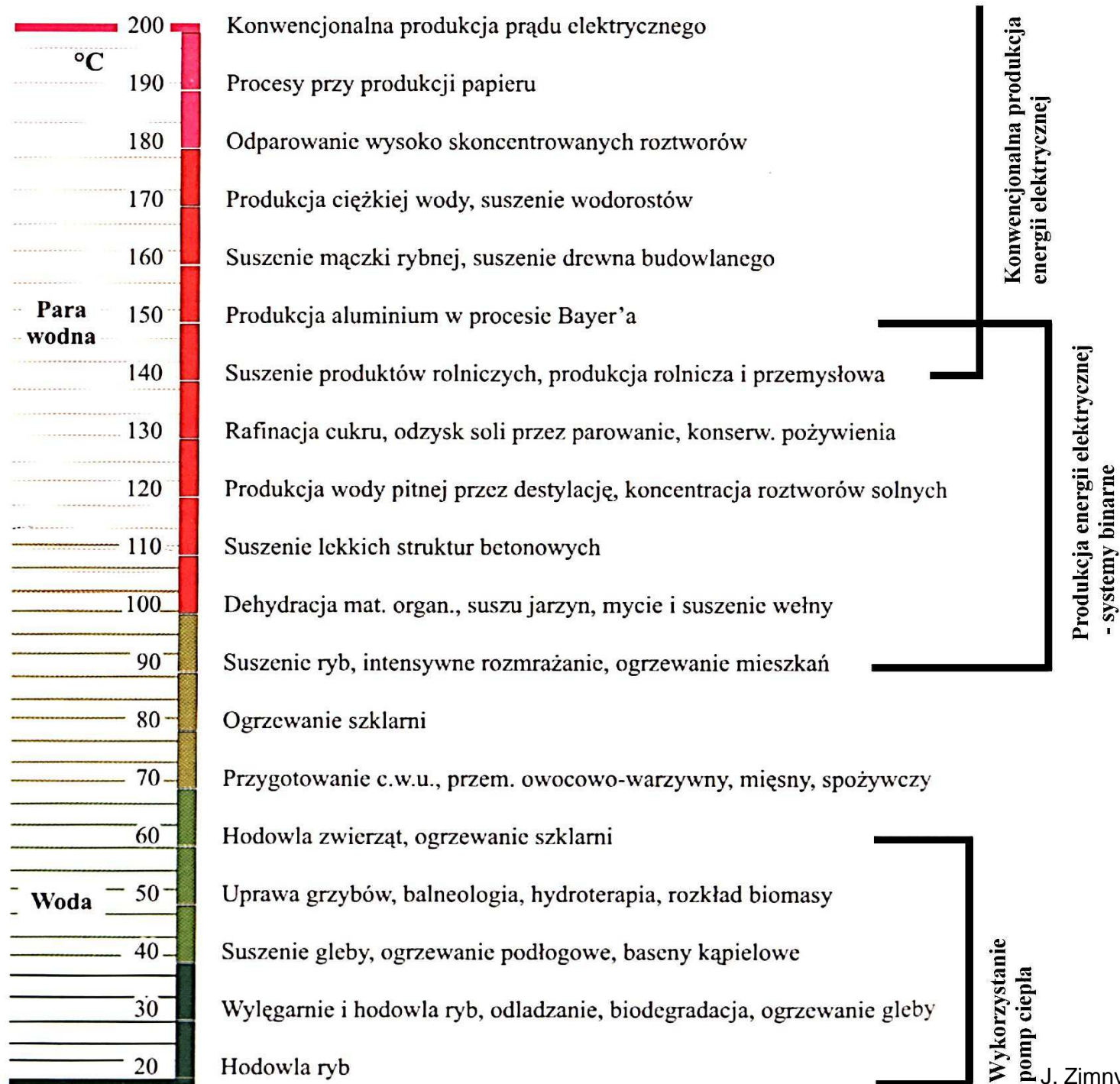
Mapa temperatur Polski, 4000m





Rys. 1.5.1 Lokalizacja funkcjonujących zakładów geotermalnych (z wyłączeniem instalacji wykorzystujących ciepło gruntu) i balneologicznych w Polsce na tle jednostek geotermalnych.

1 - funkcjonujące instalacje geotermalne, 2 - planowane instalacje geotermalne, 3 - uzdrowiska wykorzystujące wody geotermalne.





Sposoby wykorzystania energii geotermicznej

- Bezpośrednie wykorzystanie ciepła geotermicznego ← Np. do ogrzewania czynnika grzewczego w instalacji CO (PK)
- Produkcja energii elektrycznej



Projekt geotermalny Bochnia –Cikowice



Bochnia@nin
www.bochnianin.pl

Wizualizacje: M. Zaborowski / M. Pablich

26/39

J. Zimny, S. Bielik, PGA



Projekt geotermalny Bochnia –Cikowice





Projekt geotermalny Bochnia –Cikowice



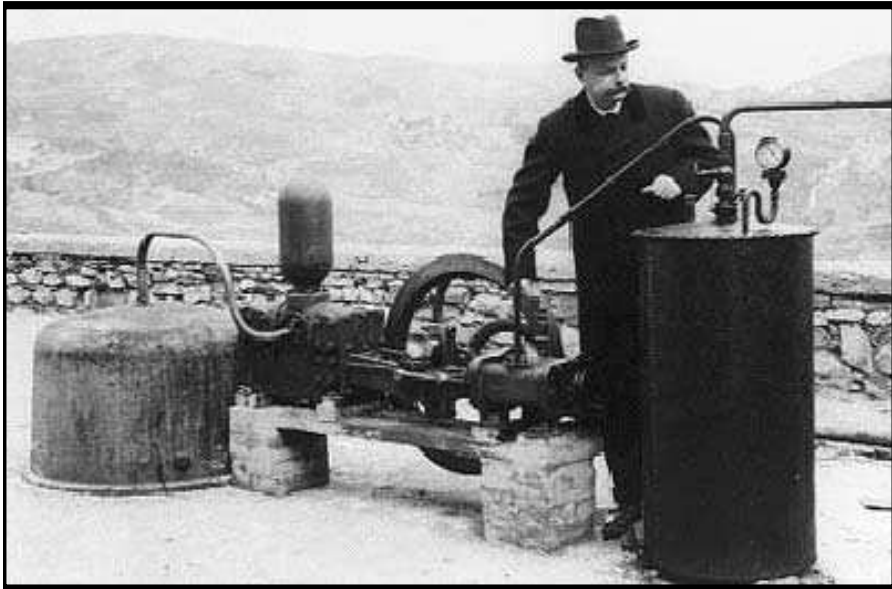


Geotermalna energia elektryczna podstawowe technologie

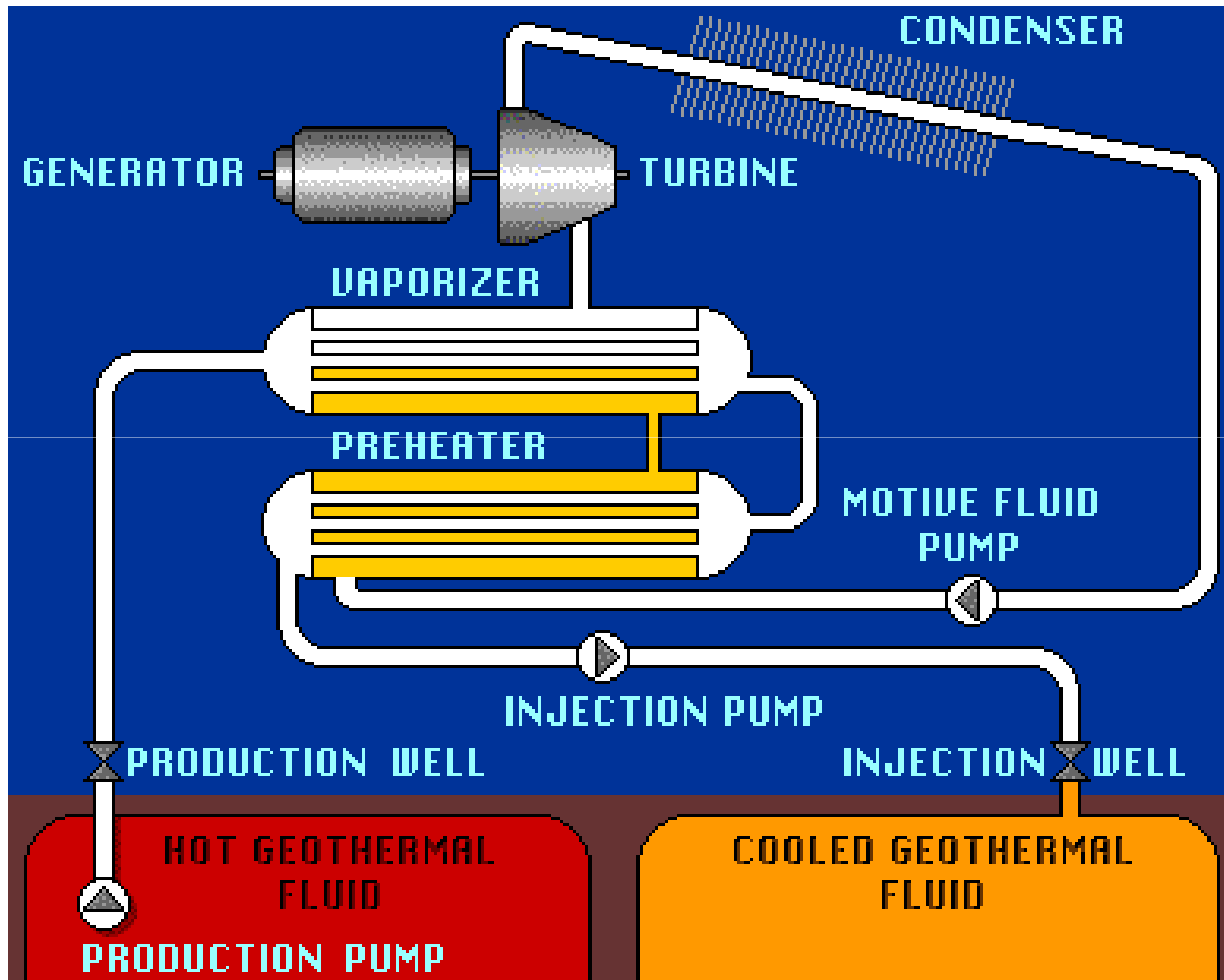
- Systemy binarne (binary cycle)
- Systemy z odparowaniem wody geotermalnej (flash steam)
- Systemy bezpośrednie (dry steam)

Larderello 1904

Pierwsza elektrownia geotermalna na Świecie



Systemy binarne





Soda Lake, Nevada
3,6 MW



Big Island, Hawaje
25 MW

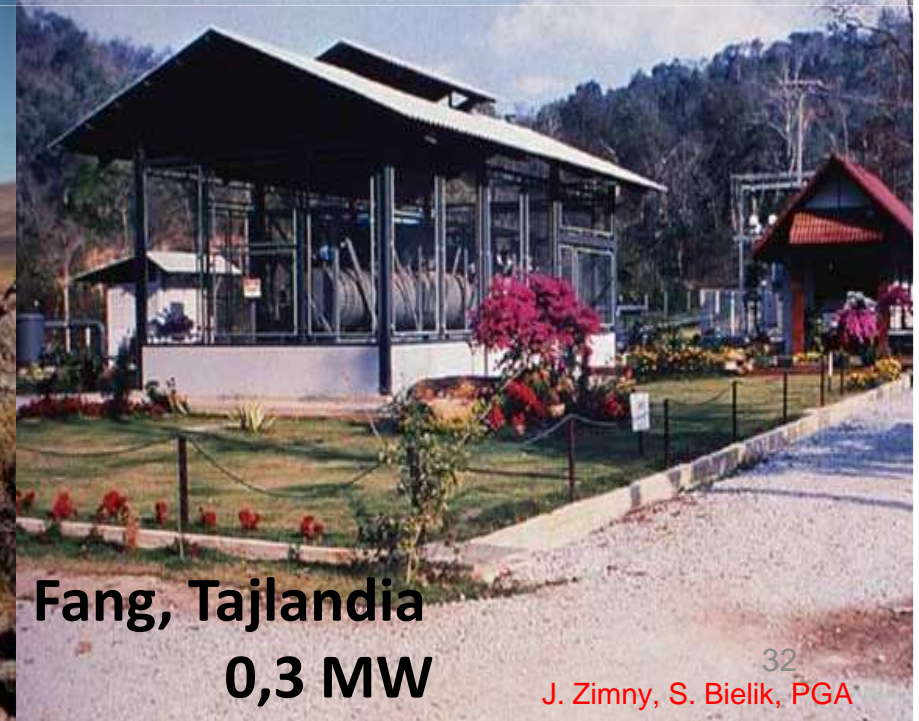


Instalacje binarne na świecie

Wendell-Amadee, Kalifornia
1,6MW



Fang, Tajlandia
0,3 MW

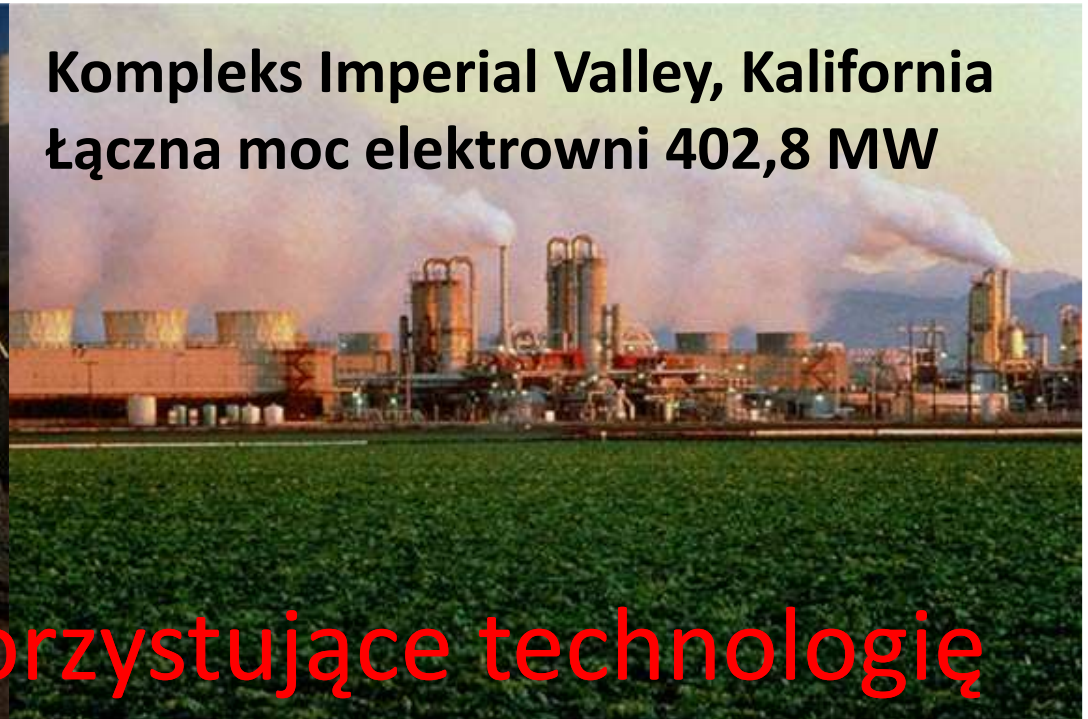




**East Mesa, Kalifornia
20MW**



**Kompleks Imperial Valley, Kalifornia
łączna moc elektrowni 402,8 MW**



Elektrownie wykorzystujące technologię odparowania wody geotermalnej

**Dixie Valley, Nevada
66 MW**



**Otake, Japonia
13 MW**







URZĄD MIEJSKI
34-200 Sucha Beskidzka
ul. A. Mickiewicza 19
tel. (033) 874 26 95
tel./fax (033) 874 22 66
centrala tel. (033) 874 23 41

POLGEOTERMIA
Sp. z o.o.
31-261 Kraków
ul. J. Wybickiego 7
tel./fax 012 632 24 35



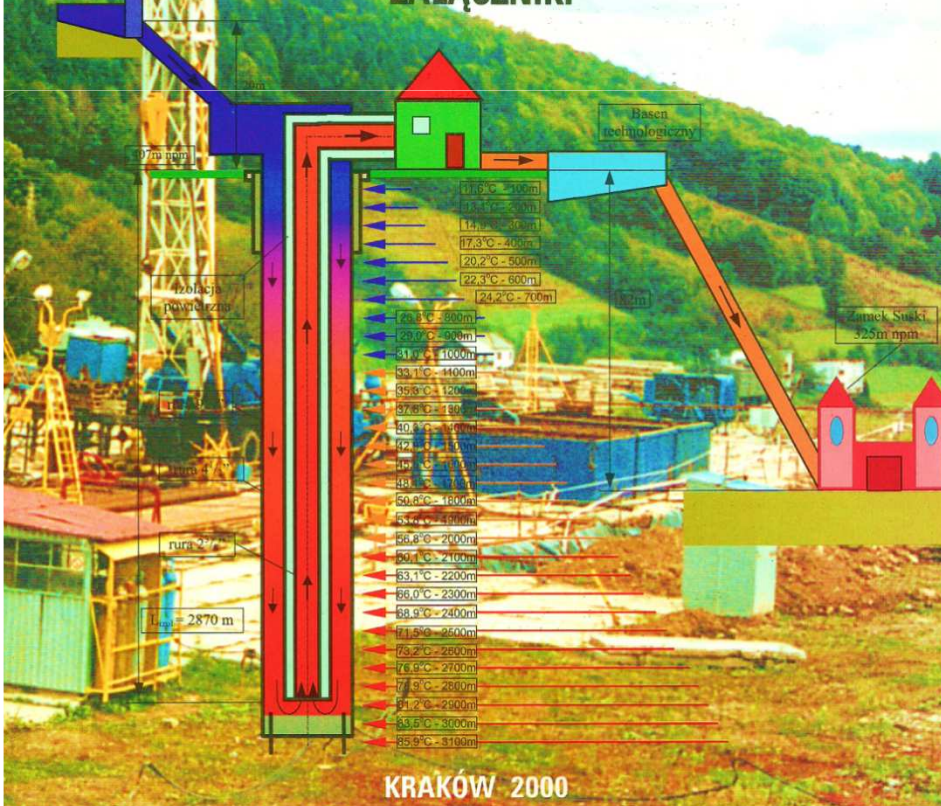
Instytut Gospodarki
Surowcami Mineralnymi
i Energją PAN
Pracownia Geosynoptyki
i Geotermii
31-261 Kraków,
ul. J. Wybickiego 7
tel./fax (012) 632-24-35

POLSKIE GÓRNICTWO NAFTOWE I GAZOWNICTWO S.A.
Oddział Biuro Geologiczne Geonafta w Warszawie
OŚRODEK REGIONALNY GEONAFTA W KRAKOWIE
31-503 Kraków, ul. Lubicz 25
tel. (012) 421-04-68

METODYKA I TECHNOLOGIA UZYSKIWANIA UŻYTECZNEJ ENERGII GEOTERMICZNEJ Z POJEDYNCZEGO OTWORU WIERTNICZEGO

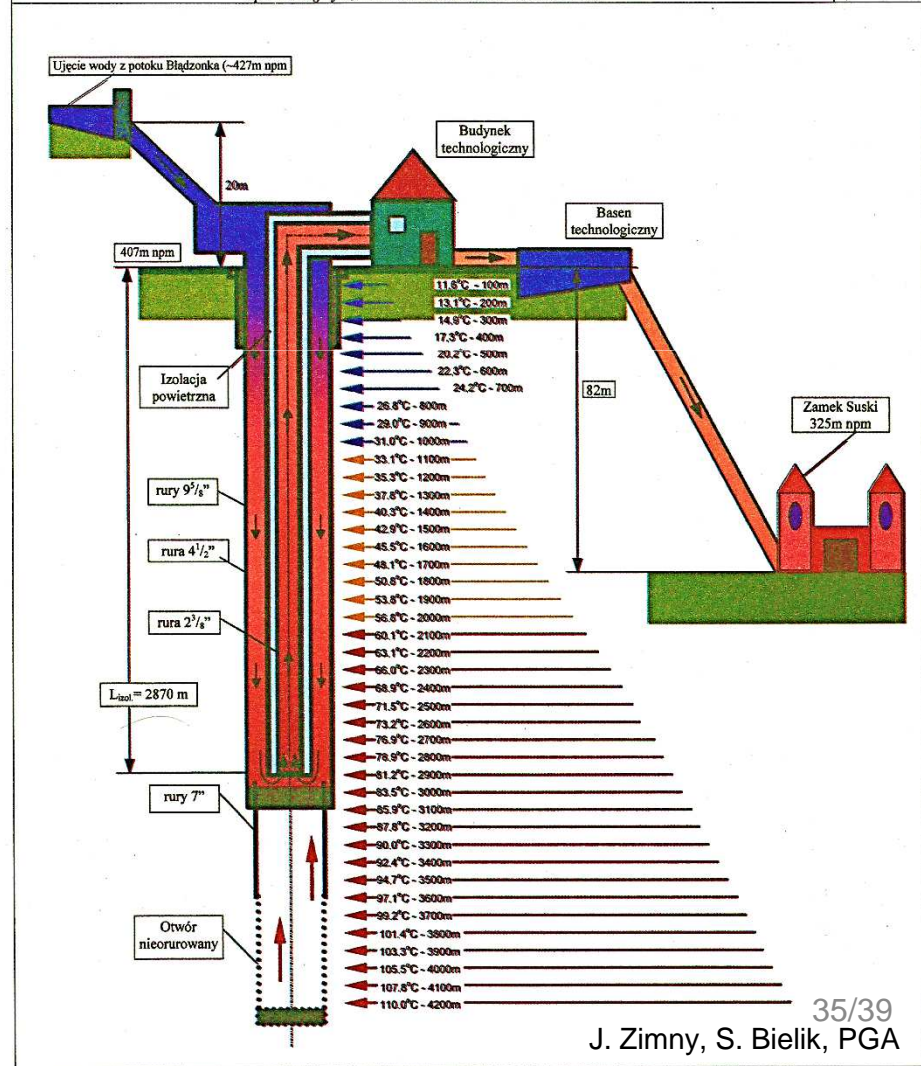
Praca zbiorowa pod kierownictwem prof. Juliana Sokolowskiego

ZAŁĄCZNIKI

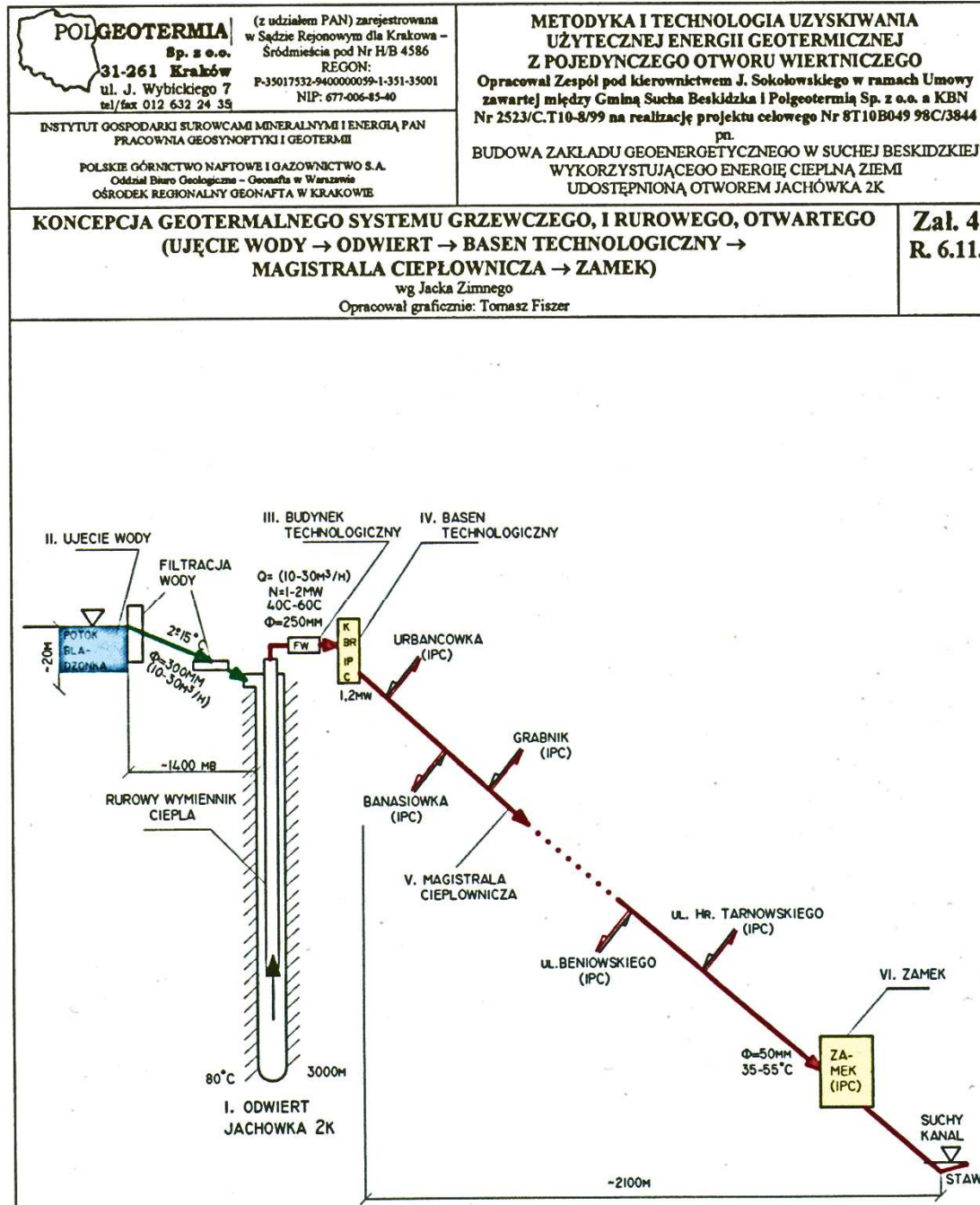


KRAKÓW 2000

<p>POLGEOTERMIA Sp. z o.o. 31-261 Kraków ul. J. Wybickiego 7 tel./fax 012 632 24 35</p>	<p>(z udziałem PAN) zarejestrowana w Sądzie Rejonowym dla Krakowa – Śródmieście pod Nr H/B 4586 REGON: P-35017532-940000039-1-351-35001 NIP: 677-006-83-40</p>	<p>METODYKA I TECHNOLOGIA UZYSKIWANIA UŻYTECZNEJ ENERGII GEOTERMICZNEJ Z POJEDYNCZEGO OTWORU WIERTNICZEGO Opracował Zespół pod kierownictwem J. Sokolowskiego w ramach Umowy zawartej między Gminą Sucha Beskidzka i Polgeotermią Sp. z o.o. a KBN Nr 2523/C.T10-8/99 na realizację projektu celowego Nr 8T10B049 98C/3844 pn. BUDOWA ZAKŁADU GEOENERGETYCZNEGO W SUCHEJ BESKIDZKIEJ WYKORZYSTUJĄCEGO ENERGIĘ CIEPLNĄ ZIEMI UDOSTĘPNIĄĄ OTWOREM JACHÓWKA 2K</p>
<p>INSTYTUT GOSPODARKI SUROWCAMI MINERALNYMI I ENERGIĄ PAN PRACOWNIA GEOSYNOPTYKI I GEOTERMII</p>		<p>SCHEMAT IDEOWY POZYSKIWANIA ENERGII CIEPLNEJ Z POJEDYNCZEGO ODWIERTU PRZEZ RURKI WYDOBYWCZE IZOLOWANE W GÓRNEJ CZĘŚCI (2870m), ZE WSPOMAGANIEM ENERGIĄ WODY PŁYNĄCEJ wg J. Sokolowskiego, B. Ludwikowskiego Opracował graficznie B. Ludwikowski w latach 1999 – 2000</p>
		<p>Zał. 4 R. 2.</p>



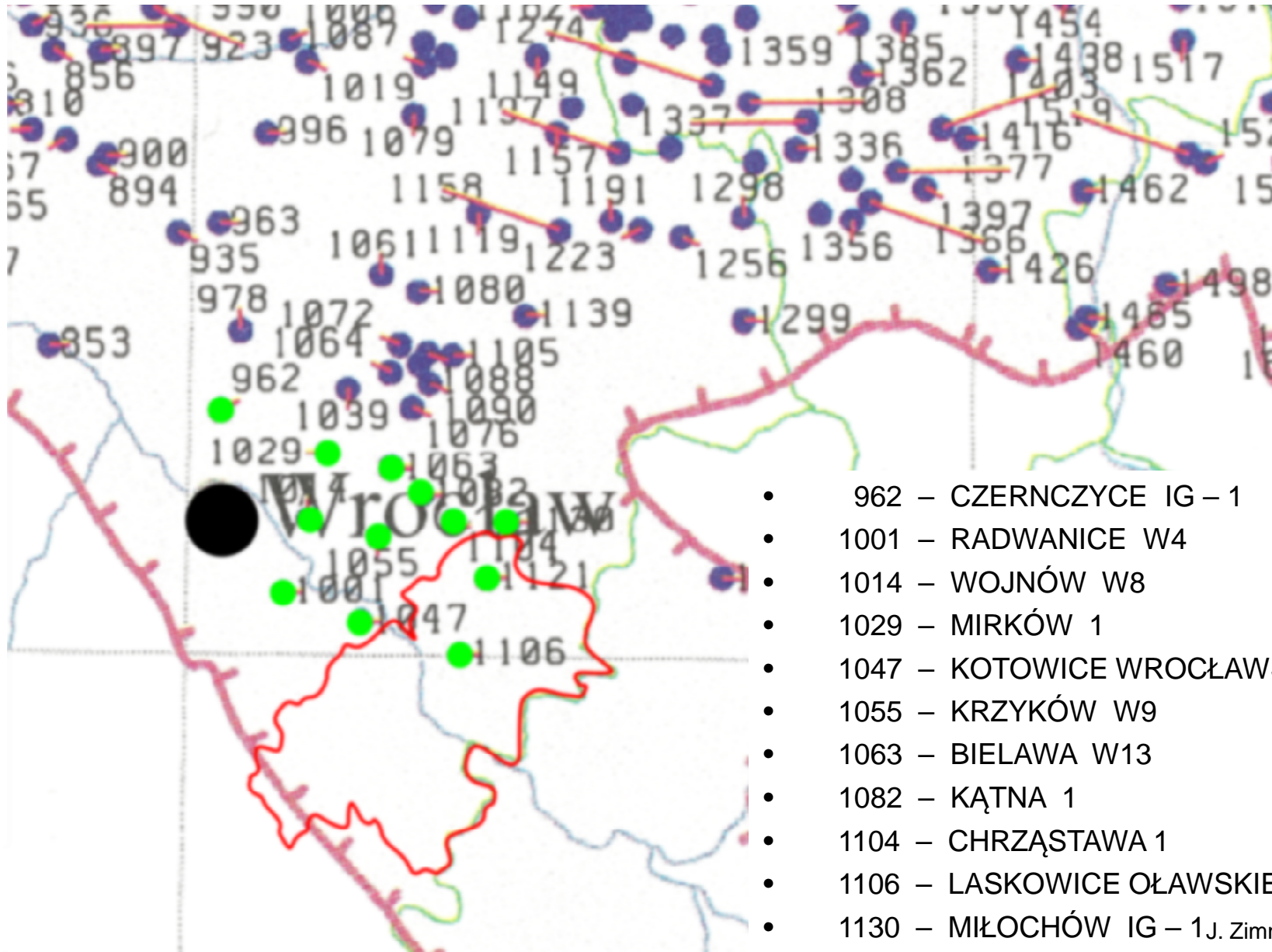
35/39
J. Zimny, S. Bielik, PGA





Głębokie odwierty w pobliżu Wrocławia i Oławy – PIG / IG

Otwory zbadane i opisane przez Prof. **Juliana Sokołowskiego** www.pga.org.pl/sokolowski.html (PK)





Lp.	Technologia energetyczna	Współczynnik wykorzystania mocy	Koszt inwestycyjny „pod klucz”	Koszt produkcji energii	Przyszły koszt produkcji energii
		[%]	[USD/kW]	2007-2010	2011-2020
1	Energia z biomasy				
	a) elektryczna	25-80	500-4000	3-12 ¢/kWh	2-10 ¢/kWh
	b) ciepło	25-80	170-1000	1-6 ¢/kWh	1-5 ¢/kWh
2	Biopaliwa ciekłe				
	a) Etanol	30-50	600-2500	8-25 USD/GJ	6-10 USD/GJ
	b) Biodiesel	30-50	800-3000	15-25 USD/GJ	10-15 USD/GJ
3	Energia z wiatru				
	a) elektryczna	20-40	850 -1700	4-8 ¢/kWh	3-7 ¢/kWh
4	Energia słoneczna				
	a) elektryczna	6-20	5000-18000	25-160 ¢/kWh	5-25 ¢/kWh
	b) ciepła	8-20	300-1700	2-25 ¢/kWh	2-10 ¢/kWh
5	Energia wodna				
	a) elektryczna	35-60	1000-3500	2-10 ¢/kWh	2-8 ¢/kWh
	-obiekty duże(powyżej 30 MW) -obiekty małe (poniżej 30 MW)	20-90	700-8000	2-12 ¢/kWh	2-10 ¢/kWh
6	Energia geotermalna				
	a) elektryczna	45-90	800-3000	2-10 ¢/kWh	1-8 ¢/kWh
	b) ciepła	20-70	200-2000	0,5-5 ¢/kWh	0,5-4 ¢/kWh
7	Energia atomowa a) elektryczna (rach. ciągniony pełny)	70-90	4000-6000	10-40 ¢/kWh	16-60¢/kWh
8	Energetyka węglowa				
	a) elektryczna	65-80	1500-2200	4-10 ¢/kWh	6-14 ¢/kWh
	b) ciepła	65-80	1150-1600	2-6 ¢/kWh	4-10 ¢/kWh
9	Energetyka gazowa				
	a) elektryczna	80-90	500-1000	5-12 ¢/kWh	8-20 ¢/kWh
	b) ciepła	80-90	500-1000	3-8 ¢/kWh	4-10 ¢/kWh

- Kreith F., Yogi Goswami D.: Handbook of energy efficiency and renewable energy, Boca Raton, CRC Press : Taylor & Francis Group, cop. 2007.
- Sorensen B. (et. al.): Renewable energy focus handbook, Amsterdam, Academic Press/Elsevier, cop. 2009
- www.world-nuclear.org
- Guła, A, Popczyk J.: Czy warto inwestować w atom? Ekonomiczne i finansowe aspekty rozwoju energetyki jądrowej w Polsce., Polski Klub Ekologiczny Warszawa, 2010.



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ