

Energetyka konwencjonalna odnawialna i jądrowa

Wykład 7 - 13.XI.2018

Zygmunt Szefliński

Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów

szef@fuw.edu.pl

<http://www.fuw.edu.pl/~szef/>

**Przykład
irracjonalnej ochrony
środowiska.
Obwodnica Augustowa**

Obwodnica Augustowa

Przewidziany do realizacji wariant GDDKiA do 24 marca 2009 roku zakładał, że obwodnica rozpocznie się w Augustowie na skrzyżowaniu z drogą nr 61, pobiegnie na północ zachodnią częścią miasta, dalej biegnie w pobliżu granicy lasu, skręca na wschód, wkracza na tereny leśne, przekracza estakadą Dolinę Rospudy w pobliżu wsi Szczeberka, dochodzi do poprzedniej drogi w pobliżu wsi Gatne i dalej do obwodnicy Suwałk. **Całość 29,7 km.**

24 marca 2009 GDDKiA zwróciła się do Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Białymstoku o wydanie decyzji środowiskowej na budowę obwodnicy Augustowa przez Raczki z ominięciem obszarów chronionych Natura 2000. Wybranie tego wariantu nastąpiło w oparciu o wyniki ekspertyzy firmy DHV na temat wariantów przebiegu obwodnicy Augustowa zgodnie z postanowieniami Okrągłego Stołu. **Długość drogi przez Raczki to 34,3 km.** Różnica odległości około 4,5 km.

Obwodnica Augustowa

Obwodnica Augustowa (Podlaskie) 7 listopada 2014 została oddana do użytku. Dzięki tej inwestycji tranzytowy ruch ok. 5 tys. ciężarówek i autobusów na dobę omija to uzdrowiskowe miasto. Całkowity ruch to 8,5 tys. Pojazdów na dobę. Budowa trwała niespełna dwa lata. Kosztowała 659 mln zł. Licząca 34,3 km obwodnica przebiega koło miejscowości Raczki i nie koliduje z obszarami Natura 2000. Jest ważną częścią trasy z Polski do krajów nadbałtyckich.

Trasa jest dłuższa ok. 4,5 km od wcześniej planowanej!

$$4,5 \text{ km} \cdot 5000 \cdot 40 \text{ l/100km} = 9000 \text{ l}$$

$$4,5 \text{ km} \cdot 3500 \cdot 8 \text{ l/100km} = 1260 \text{ l}$$

$$\begin{array}{r} \text{-----} \\ \text{Razem} \quad 10260 \text{ l/dobę} \approx 3 \text{ mln litrów rocznie} \\ \approx 30 \text{ mln kWh} = 30 \text{ GWh (wykł. 3)} \end{array}$$

źródło: SISKOM, Droga ekspresowa S-8 na odcinku Augustów-Suwałki.

Obwodnica Augustowa

Koszty budowy od węzła Lotnisko w Suwałkach do skrzyżowania z drogą krajową nr 16 w Augustowie to 586,014 mln zł.

Powyższe koszty odnoszą się do rozwiązania docelowego – trasa ekspresowa w wersji dwujezdniowej na całym odcinku.

Ale, 30 mln kWh rocznie dodatkowo to straty 15 mln zł.

10kWh to ok.1kg węgla ~ 3,5 kg CO₂

→ 30 mln kWh to ok. 10 tys ton CO₂ rocznie

**Dodatkowe koszty (po 40 latach, 40x15 mln=600 mln)
to równowartość kosztów budowy obwodnicy!**

źródło: SISKOM, Droga ekspresowa S-8 na odcinku Augustów-Suwałki.

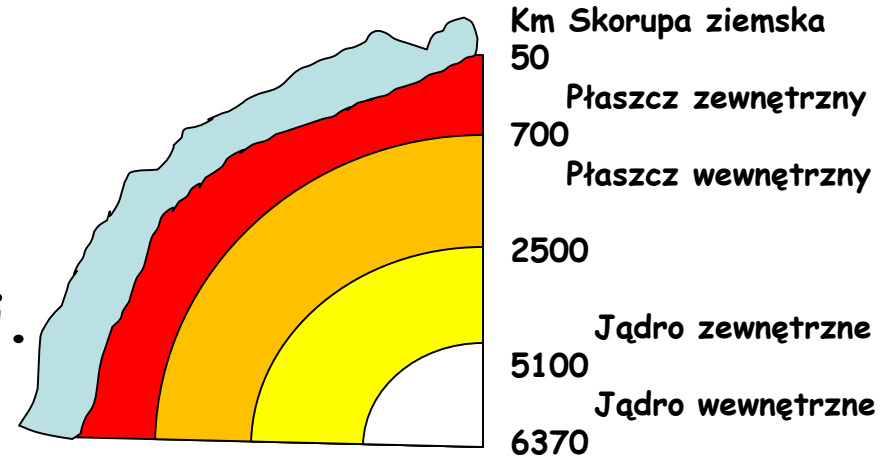
Wykład 11

Geotermia.

Ciepło wnętrza Ziemi

Dwa źródła:

- rozpady radioaktywne,
- ciepło przesączające się przez płaszcz z jądra Ziemi.



Geotermia jest :

- zawsze dostępna,
- niezależna od pogody,
- siłownie geotermiczne można bez trudności włączać i wyłączać w zależności od zapotrzebowania.

Wnętrze Ziemi

W jądrze Ziemi zachodzi rozpad pierwiastków promieniotwórczych, którego efektem jest wysoka temperatura dochodząca do ok. 4500°C .

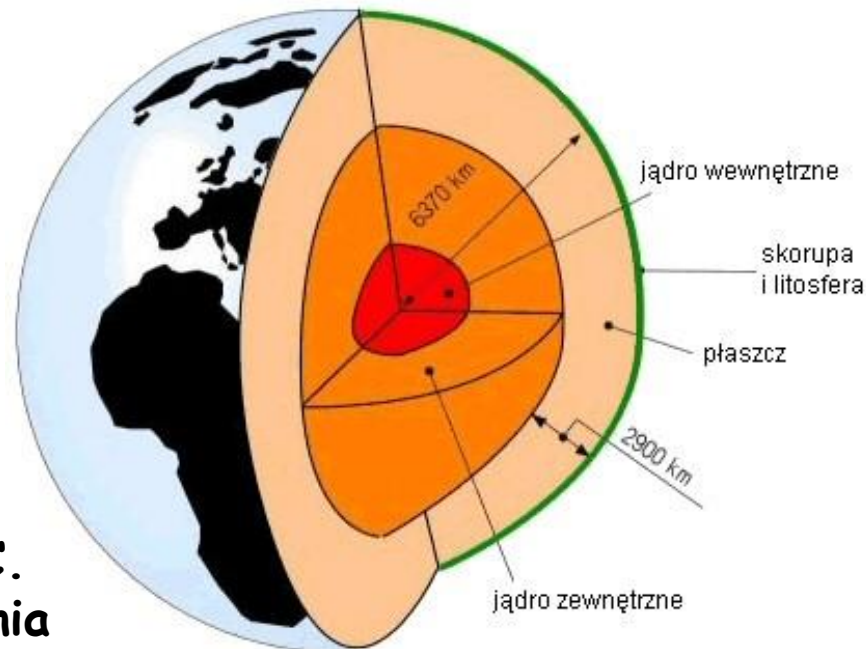
Temperatura ta maleje w miarę zbliżania się do powierzchni Ziemi o $15\text{--}80^{\circ}\text{C}$ na jeden kilometr, w zależności od rodzaju skał i warunków geologicznych.

Przeciętnie przyjmuje się, że gradient temperatury skorupy ziemskiej wynosi

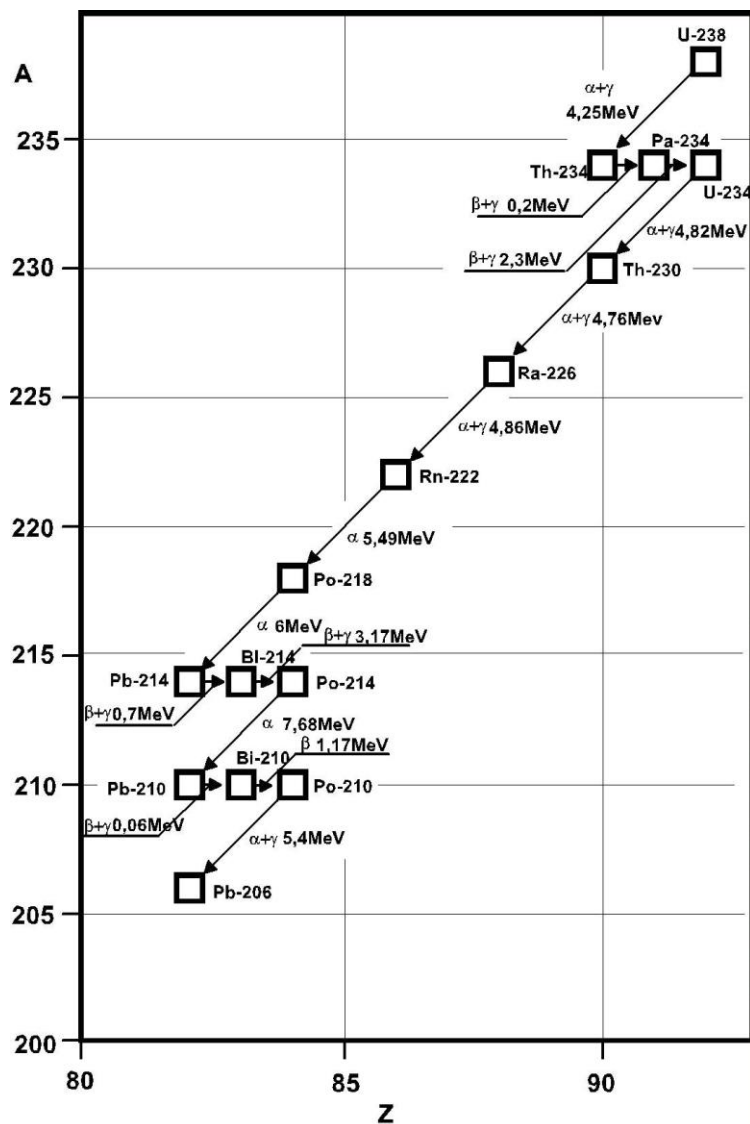
30°C/km .

Z punktu widzenia możliwości praktycznego wykorzystania tego gradientu rozróżnia się następujące rejony geotermalne:

- hipertermiczny z gradientem temperatury większym niż 80°C/km ;
- semitermiczny od 40 do 80°C/km ;
- normalny z gradientem do 40°C/km .



Energia promieniowania naturalnego



Przy rozpadzie 1 grama toru jest generowana energia 73,17 GJ;

Przy rozpadzie 1 grama uranu jest generowana energia 83,75 GJ;

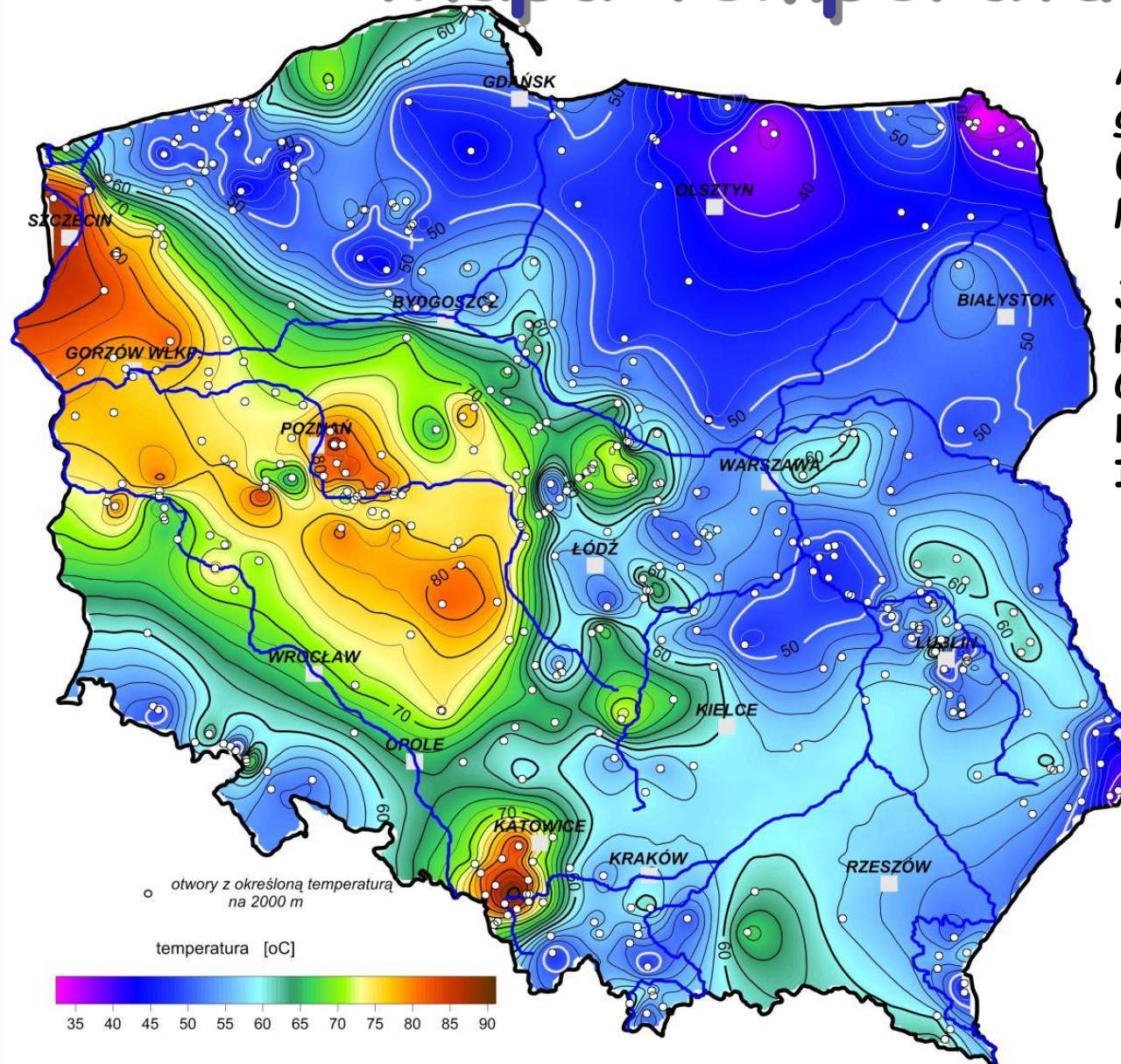
W Polsce, średnio w 1 tonie gleby znajduje się 2 gramy uranu i 7 gramów toru.

Rozpad tych pierwiastków wytworzy energię 680 GJ - równoważną spaleniu 27 ton węgla!!

$$1 \text{ MWh} = 3,6 \text{ GJ} \Rightarrow 680 \text{ GJ} = 189 \text{ MWh}$$

Do wytworzenia 145 TWh energii elektrycznej wytwarzanej z paliw stałych w Polsce rocznie wykorzystuje się 50 Mton węgla kamiennego i ponad 60 Mton węgla brunatnego.

Mapa temperatury



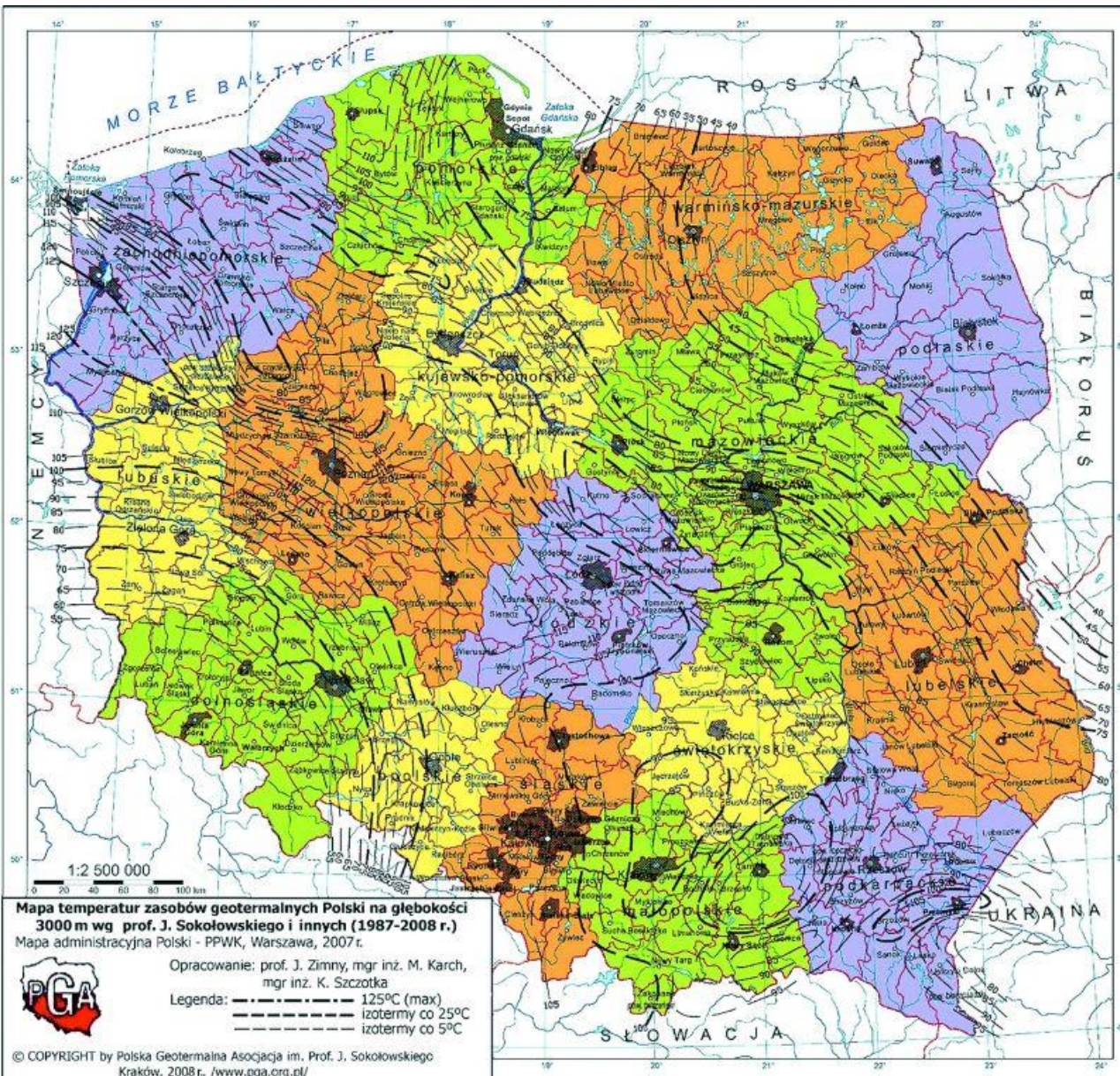
Mapa temperatury na głębokości 2000 metrów (pod powierzchnią terenu) p.p.t.

Jan Szewczyk
Państwowy Instytut
Geologiczny, Zakład
Hydrogeologii i Geologii
Inżynierskiej

Mapa temperatury

Mapa temperatur na głębokości 3000 metrów (pod powierzchnią terenu) p.p.t.

Wg prof. Juliana Sokołowskiego i innych (1987-2008)
Polish Geothermal Association



Skąd ciepło Ziemi

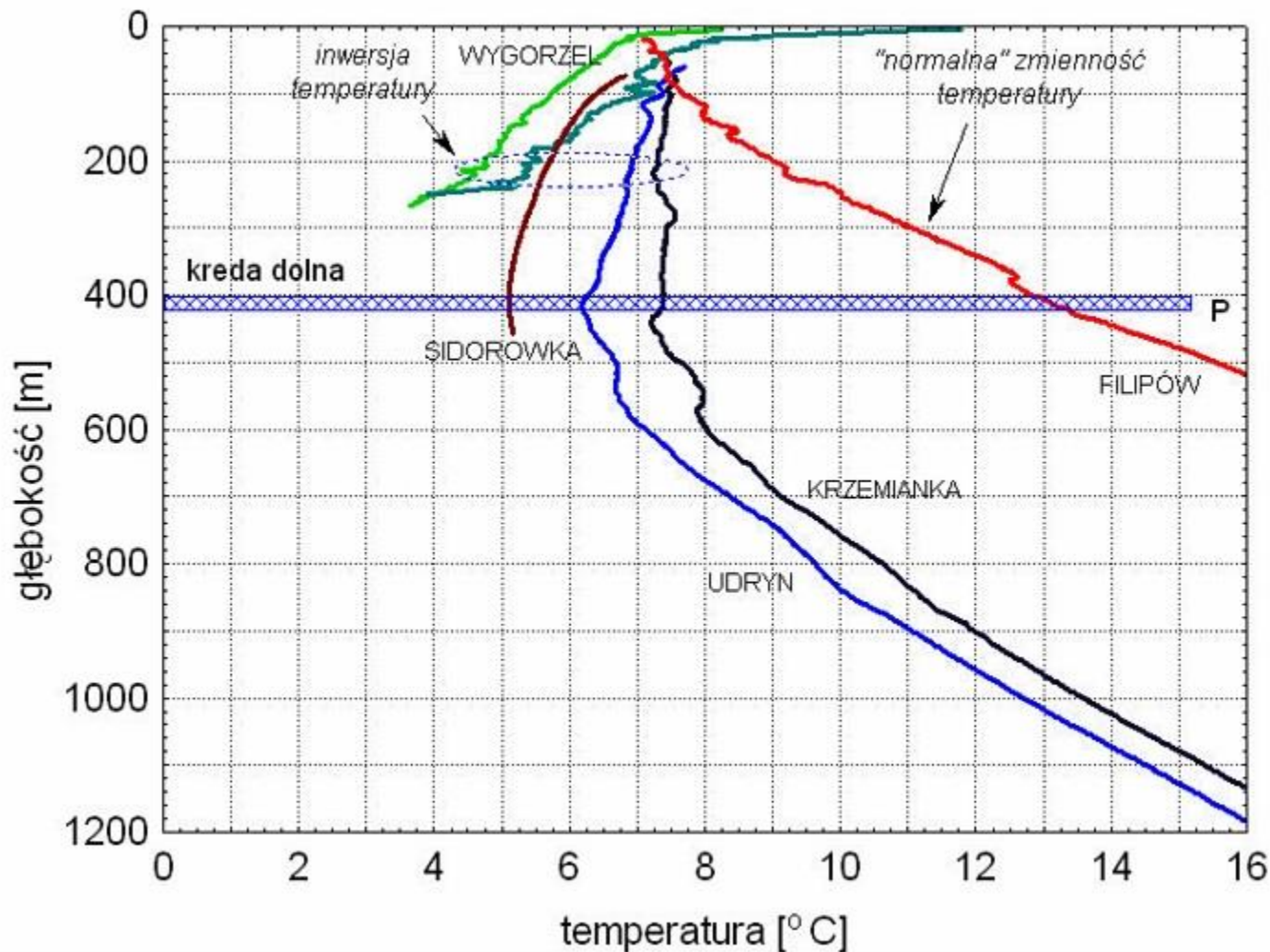
- Współcześnie ocenia się, że tylko 20% energii cieplnej Ziemi pochodzi z jej wnętrza, z zapasu ciepła, jaki miała u zarania swych dziejów, a 80% - z rozpadu pierwiastków promieniotwórczych zawartych w skałach skorupy ziemskiej, głównie w skałach granitowych występujących na głębokości do kilkudziesięciu kilometrów.
- Przyrost temperatury wraz głębokością określa się za pomocą gradientu geotermicznego.
- gradient termiczny pod powierzchnią kuli ziemskiej to około 30 °C/km, ale jest zróżnicowany, np. w południowej Afryce gradient geotermiczny wynosi 8,3 °C/km, a na Islandii 100 °C/km.

Temperatura głębokich warstw

Gdyby temperatura Ziemi na całej długości jej promienia przyrastała tak samo szybko jak w strefie przypowierzchniowej, to we wnętrzu Ziemi przekraczałyby 200 tys. °C. ($30^{\circ}/\text{km} \cdot 6400\text{km} \approx 200 \text{ tys.}$)

- Temperatura skał najszybciej wzrasta w najpłytszej części skorupy ziemskiej – do głębokości około 20 km.
- Później wzrost ten następuje zdecydowanie wolniej. Według kilku akceptowanych obecnie hipotez badawczych temperatura wnętrza naszej planety wynosi 4,5 tys. do 8 tys. °C.

Nieregularności i inwersja



Źródło:
Jan Szewczyk
Państwowy Instytut
Geologiczny,
Zakład Hydrogeologii i
Geologii Inżynierskiej

Gradient termiczny
„normalny”:

$\sim 15^{\circ}\text{C}/\text{km}$

Temperatura na
głębokości 40 km
wynosi:

$\sim 600^{\circ}\text{C}$

Inwersja głębokościowa temperatury w profilach otworów wiertniczych na Suwalszczyźnie
– związana z istnieniem w przeszłości, a lokalnie również współcześnie wiecznej zmarzliny.

Geotermia - wady i zalety

wady	zalety
1. Ograniczona dostępność 2. Wysokie koszty instalacji 3. Podczas wydobywania wydostają się szkodliwe gazy (H_2S) i minerały 4. Problemy techniczne przy eksploatacji złoża 5. Korozja rur	1. Czyste źródło energii 2. Niewyczerpalność 3. Niskie koszty eksploatacji 4. Niezależność od pogody i klimatu 5. Możliwość pozyskiwania w pobliżu odbiorcy

Energia geotermalna - ograniczenia

Trudność w pozyskiwaniu tej energii w sposób **zrównoważony polega na tym**, że przewodzenie ciepła przez skały jest ograniczone. Wskutek tego nie możemy przez dłuższy czas zasysać z gorącego wnętrza ziemi dużych ilości energii.

1. Możemy wpuścić do otworu dwie rury, by do jednej z nich pompować zimną wodę, a przez drugą zasysać parę, która z kolei napędzi elektrownię
2. Po jakimś czasie odbieranie ciepła spowoduje spadek temperatury skał.

Nie wykorzystywaliśmy energii w sposób zrównoważony i teraz będziemy musieli długo czekać, zanim skały na dnie otworu znowu się nagrzeją !!!

Ile ciepła można pobrać w sposób zrównoważony?

Na typowej płycie kontynentalnej ciepło docierające przez płaszcz wynosi około $0,01 \text{ W/m}^2$.
Przepływ ciepła na powierzchni wynosi $0,05 \text{ W/m}^2$, gdzie dodatkowe $0,04 \text{ W/m}^2$ pochodzi z rozpadu substancji radioaktywnych w skorupie ziemskiej.

Na głębokości 15 km możemy uzyskać 17 mW/m^2

Przy pobieraniu energii na całej powierzchni Polski mamy:

$$17 \frac{\text{mW}}{\text{m}^2} \cdot 8000 \frac{\text{m}^2}{\text{os.}} = 136 \frac{\text{W}}{\text{os.}} \quad 136 \frac{\text{W}}{\text{os.}} \cdot 24 \text{h} \approx 3,3 \text{ kWh} / \text{d} / \text{os.}$$

Jednostkowy koszt geotermalnej energii cieplnej jest szacunkowo ok. 20% niższy od kosztu energii cieplnej wytwarzanej w ciepłowni konwencjonalnej.

Geotermia – słabe punkty

**Energia geotermalna odnawialna
3,3 kWh/d/na osobę**

Jest to wartość pozwalająca na bezterminową zrównoważoną eksploatację ciepła z wnętrza Ziemi. Pamiętajmy, że:

- obliczenia ignorują gorące punkty,
- zakładają istnienie doskonałych instalacji,
- przyjmują wykorzystanie każdego metra kwadratowego terenu
- prowadzonych za darmo odwiertów,
- Przyjmują że można wiercić otwory o głębokości do 15 km

Sposoby wykorzystania energii geotermalnej

- ❑ CIEPŁOWNIE GEOTERMALNE-dostarcza bezpośrednio do odbiorców wodę z wnętrza Ziemi a odprowadza wychłodzoną wodę z powrotem do jej wnętrza.
- ❑ POMPY CIEPŁA-Polega ono na czerpaniu energii z wód geotermalnych, kumulowaniu jej i przekazywaniu do wymiennika ciepła. Tak pozyskana energia może być wykorzystana na ogrzanie wody użytkowej lub budynku.
- ❑ ELEKTROWNIE GEOTERMALNE- Woda z odwiertu oddaje ciepło czynnikowi termodynamicznemu, a potem jest wtłaczana z powrotem do złoża. Para wodna jest skierowana do turbiny wytwarzającej prąd elektryczny

Energia geotermalna - Islandia

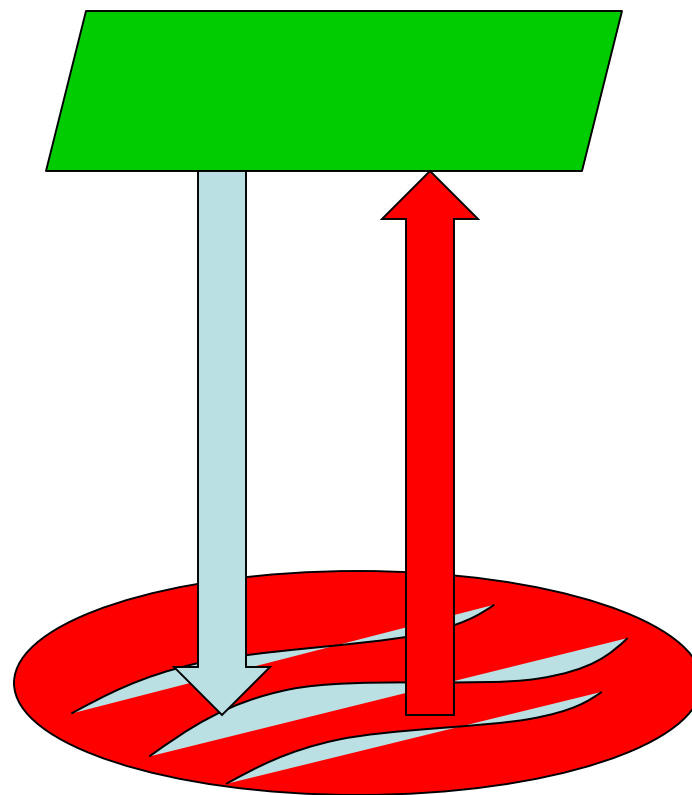
Średnia wytwarzana moc przez elektrownie geotermiczne w Islandii (której populacja wynosi 300 000) wynosiła w roku 2006 300 MW (24 kWh/d na osobę).

Ponad połowa wytwarzanej tam elektryczności jest zużywana na produkcję aluminium.



Energia geotermalna

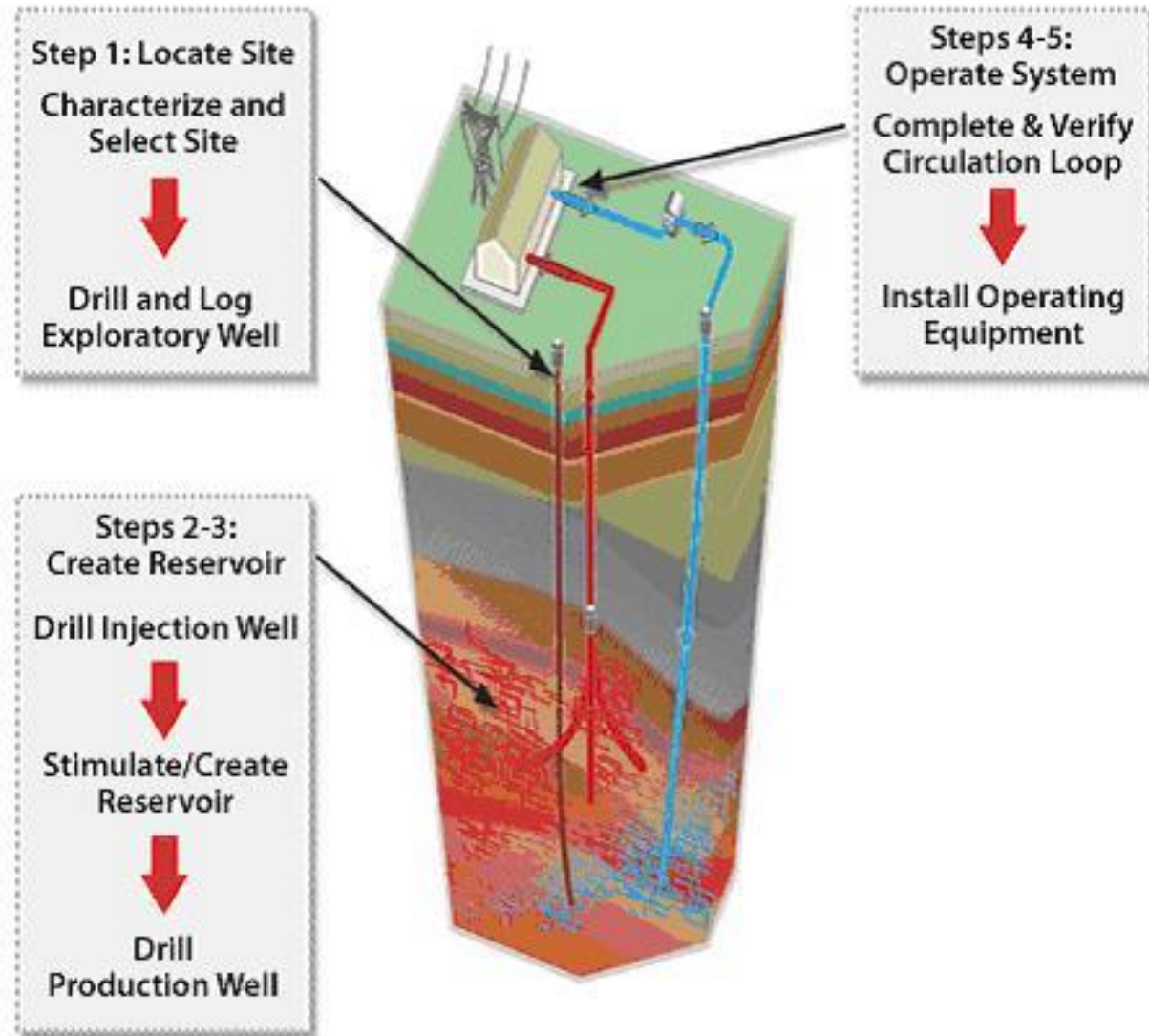
Być może w nieodległej przyszłości, po rozwinięciu techniki pozyskiwania energii z suchych gorących skał na głębokości ~15 km, podgrzanych do 200 °C (ang. Hot Dry Rocks - **HDR**), wewnętrzne ciepło Ziemi posłuży również do produkcji energii elektrycznej.



Ekstrakcja geotermiczna
ciepła z HDR

Geotermia jako zasób nieodnawialny

EGS Development Sequence



Geoenergetyka

Energia geotermalna niskotemperaturowa (ciepło)

Geotermia wysokotemperaturowa (prąd i ciepło),

Geoenergetyka zajmuje się wykorzystaniem i przetwarzaniem energii (ciepła) wnętrza Ziemi, skumulowanej w złożach geologicznych przegrzanej pary wodnej, wód geotermalnych i gorących suchych skał.

1. Z par wodnych i wód geotermalnych o temperaturze powyżej 80 st. C wytwarza się w zakładach geoenergetycznych (elektrociepłowniach i elektrowniach geotermalnych) prąd elektryczny.
2. Wody geotermalne o temperaturach 20-80 st. C wykorzystuje się w ciepłownictwie do ogrzewania budynków przemysłowych i mieszkalnych, rolniczych, leczniczych, rekreacyjnych, sportowych; w balneologii i chłodnictwie. Te działy geoenergetyki są stosowane na świecie od ponad 100 lat, przy czym szczególny ich rozwój nastąpił w ostatnich 30 latach.

Geoenergetyka - występowanie

Energia geotermalna niskotemperaturowa (ciepło)

Geotermia wysokotemperaturowa (prąd i ciepło),

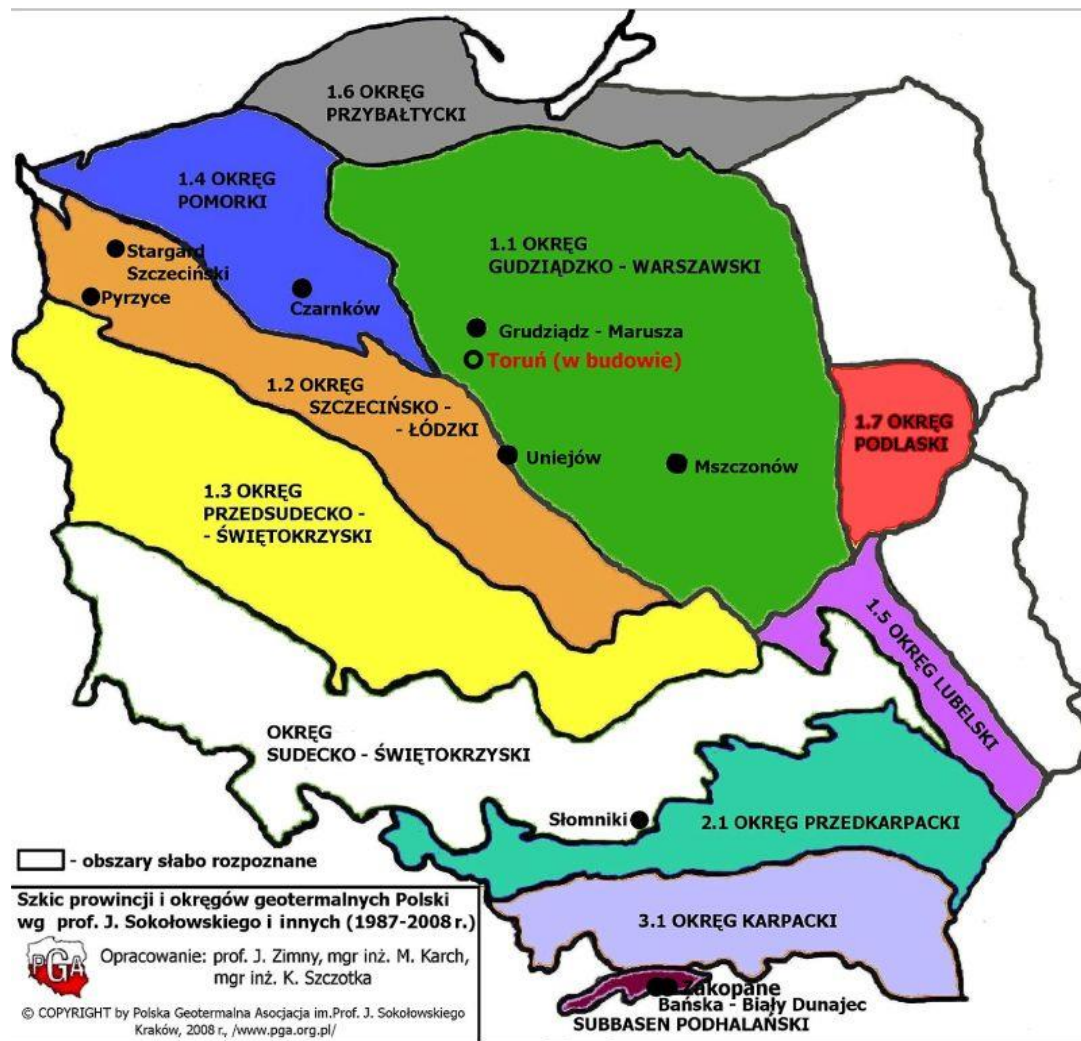
1. Występowanie zasobów energii geotermalnej wysokotemperaturowej (powyżej 130 st. C) związane jest z obszarami wulkanicznymi Ziemi, tworzącymi wąskie, długie pasy (ryftowe lub subdykcyjne) i znajdują się na terenach Nowej Zelandii, Japonii, Indonezji, Kamczatki, Filipin, zachodnich wybrzeży USA; w Europie we Włoszech, Grecji, Islandii, w rowie Renu.
2. Występowanie energii geotermalnej niskotemperaturowej (poniżej 130 st. C) związane jest głównie z basenami sedymentacyjnymi, zasobnymi też w złoża ropy naftowej i gazu ziemnego. Baseny te, których na globie istnieje około 200, zajmują ponad 60 proc. powierzchni kontynentów (J.Sokołowski); złoża ropy i gazu zajmują 1-2 proc. powierzchni, a złoża wód geotermalnych około 98 proc. powierzchni tych basenów.

Okręgi geotermalne Polski

Polska posiada bardzo dobre warunki geotermalne, dlatego że 80 % powierzchni naszego kraju jest pokryte przez trzy prowincje geotermalne:

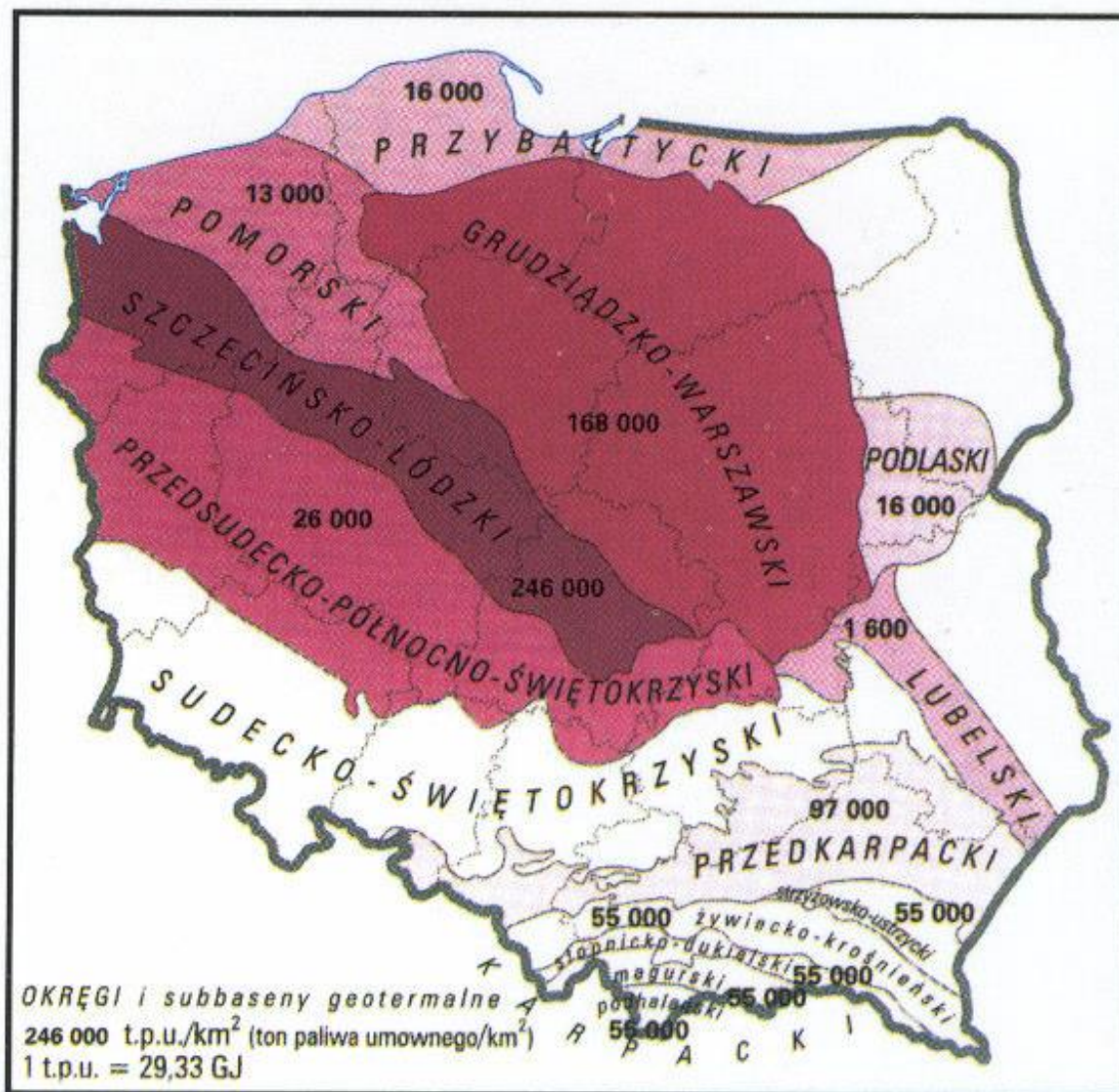
- ☐ Przedkarpacką,
- ☐ Karpacką
- ☐ Centralnoeuropejską.

Temperatura dla tych obszarów waha się w granicach od 30°C do 130°C, natomiast głębokość występowania w skałach osadowych od 1 do 10 km.



Okręgi geotermalne Polski

Energia geotermalna



13.XI.2018

Roman Ney i Julian Sokołowski, 1992. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polska Akademia Nauk, Kraków.

Lp.		Powierzchnia złoż [km ²]	Formacja geologiczna	Zasoby wód geotermalnych [km ³]	Zasoby wód geotermalnych [mln t.p.u.]	Objętość wód geotermalnych [m ³ /km ²]	Energia ciepła [t.p.u./km ²]
1	<u>PROWINCJA ŚRODKOWOEUROPEJSKA</u>	222 000		6 215	32 436	99 401 000	501 000
1.1	Okręg grudziądzko - warszawski	70 000	Kreda/Jura Trias	2 766 334	9 853 2 107	44 134 400	168 000
1.2	Okręg szczecińsko - łódzki	67 000	Kreda/Jura Trias	2 580 274	16 627 2 185	42 266 600	246 000
1.3	Okręg sudecko - świętokrzyski	39 000	Perm/Trias	155	955	3 900 000	26 000
1.4	Okręg pomorski	12 000	Perm/Karbon Dewon/Lias/Trias	21	162	1 600 000	13 000
1.5	Okręg lubelski	12 000	Karbon/Dewon	30	193	2 500 000	16 000
1.6	Okręg przybaltycki	15 000	Kambr/Perm/Mezozoik	38	241	2 500 000	16 000
1.7	Okręg podlaski	7 000	Kambr/Perm/Mezozoik	17	113	2 500 000	16 000
2	<u>PROWINCJA PRZEDKARPACKA</u>	16 000		362	1555	22 600 000	97 000
2.1	Okręg przedkarpacki	16 000	Trias/Jura/Kreda/ Trzeczorząd	362	1555	22 600 000	97 000
3	<u>PROWINCJA KARPACKA</u>	13 000		100	714	7 700 000	55 000
3.1	Okręg karpacki	13 000	Trias/Jura/Kreda/ Trzeczorząd	100	714	7 700 000	55 000
		251 000		6 677	34 705	99 401 000	653 000

Zasoby geotermalne

**Prowincje i okręgi geotermalne Polski oraz
potencjalne zasoby wód i energii w nich zawarte
wg prof. J. Sokołowskiego i innych (1987-2008 r.)**



Opracowanie: prof. J. Zimny, mgr inż. M. Karch,
mgr inż. K. Szczotka

© COPYRIGHT by Polska Geotermalna Asocjacja

im. Prof. J. Sokołowskiego, Kraków, 2008 r.,/www.pga.org.pl/

Geotermia w Polsce

Jak dotąd na terenie
Polski funkcjonuje osiem
geotermalnych zakładów
ciepłowniczych:



- Bańska Niżna (4,5 MJ/s, docelowo 70 MJ/s),
- Pyrzyce (15 MJ/s, docelowo 50 MJ/s),
- Stargard Szczeciński (14 MJ/s),
- Mszczonów (7,3 MJ/s), Uniejów (2,6 MJ/s),
- Słomniki (1 MJ/s), Łasek (2,6 MJ/s)
- Klikuszowa (1 MJ/h).
- Projekt geotermalny w Toruniu (w fazie realizacji)

Geotermia w Polsce

Energia geotermalna staje się również coraz bardziej popularna w Polsce, zwłaszcza w Zakopanem i na Podhalu.

- Ogrzewanie energią geotermalną jest tam już o 40 proc. tańsze niż ogrzewanie gazem i 90 proc. zakopiańskich hoteli oraz około 250 tys. tamtejszych prywatnych gospodarstw domowych korzysta obecnie z tego rodzaju energii.
- Dzięki temu w Zakopanem nastąpiła znaczna redukcja emisji dwutlenku węgla. Z kolei przykładem nowopowstających inwestycji jest Toruń, gdzie udokumentowano zasoby wód termalnych o temperaturze przekraczającej 60 st. C i dużej wydajności.

Geotermia - koszty

- Według opracowania firmy doradczej Frost & Sullivan (2008 r.), wydajność energii geotermalnej wynosi aż 70 proc. wobec 20-35 proc. w przypadku energii wiatrowej czy słonecznej - z tego powodu to niewyczerpalne źródło stawia się najwyżej. I chociaż obecne wykorzystanie energii geotermalnej na świecie nie przekracza 1 proc., to projekty dotyczące tego źródła energii realizowane są w 20 krajach na całym świecie.
- Koszt wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł geotermalnych w roku 2005 wynosił **50-150 euro/MWh**. Oczekuje się, że koszt ten spadnie do 40-100 euro/MWh w roku 2010, a dziesięć lat później - do 40-80 euro/MWh. W miarę jak koszty energii geotermalnej będą się obniżać, wzrastać będzie zainteresowanie jej stosowaniem.

Energia - subsydia

W ramach pakietu energetyczno-klimatycznego, Unia Europejska ma obowiązek redukcji emisji CO₂ o 20 proc., zwiększenia udziału OZE o 20 proc, oraz - na tym samym poziomie - efektywności energetycznej (stąd jest nazywany „pakietem 3x20) do 2020 roku. By wywiązać się z przyjętych zobowiązań, państwa członkowskie zaczęły wprowadzać subsydia dla branży OZE - bez których nie opłacałoby się budować nowych inwestycji.

Komisja Europejska stwierdza w Komunikacie 271 z 6.06.2012, że wsparcie dla OZE musi być ograniczone i efektywne, pozwalające im na równoprawny udział w konkurencyjnym rynku energii.

Dopłaty do OZE w Polsce

W ramach priorytetu **IX PO IiŚ** infrastruktura przyjazna środowisku dofinansowane będą następujące działania:

1. Wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych, które wspierać będzie budowę lub zwiększenie mocy jednostek wytwarzania energii elektrycznej wykorzystujących energię wody w małych elektrowniach wodnych do 10 MW, biogazu i biomasy, wiatru, a także ciepła przy wykorzystaniu energii geotermalnej i słonecznej;
2. Wytwarzanie biopaliw ze źródeł odnawialnych przewiduje dofinansowanie budowy instalacji do produkcji biopaliw i biokomponentów stanowiących samoistne paliwa;
3. Sieci ułatwiające odbiór energii ze źródeł odnawialnych, obejmuje budowę oraz modernizację sieci umożliwiających przyłączenie jednostek wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych.

Podsumowanie (wykład 7)

Dzienny przyczynek do wytwarzania energii
odnawialnej w Polsce na osobę

Energia fototermiczna	12 kWh/d	
Energia fotowoltaiczna	50 kWh/d	??
Biomasa	36 kWh/d	
Hydroenergetyka	1,5 kWh/d	
Fale i pływy	0 kWh/d	
Wiatraki lądowe	40 kWh/d	??
Wiatraki morskie	5 kWh/d	
Geotermia	3 kWh/d	

Razem	147,5 kWh/d	
Policzone dzienne zużycie energii:	151 kWh/d	