

ENERGIA GEOTERMALNA

Energia+Technologia=Szkoła+Zawód - Technologie energii odnawialnej w szkołach
dla wykwalifikowanych pracowników przyszłości

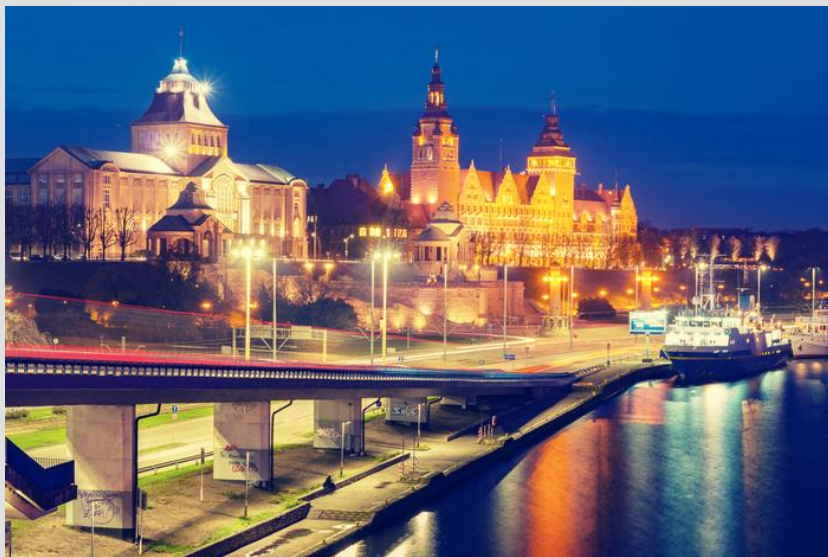
Energie+Technik=Schule+Beruf - Erneuerbare Energietechnik macht Schule
für Fachkräfte der Zukunft

Partner projektu: Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Al. Piastów 17, PL 70-310 Szczecin

DLACZEGO ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII?



- Znacząco wzrasta zapotrzebowanie na energię
- Istniejące zasoby paliw kopalnych wyczerpują się



Miasto Szczecin
www.shutterstock.com



Kopalnia odkrywkowa węgla kamiennego Wyoming USA
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coal_mine_Wyoming_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coal_mine_Wyoming_(cropped).jpg) (CC-License)

DLACZEGO ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII?



- Środowisko jest zanieczyszczane produktami spalania paliw kopalnych



Fabryka zanieczyszczająca powietrze

https://pl.wikipedia.org/wiki/Zanieczyszczenie_%C5%9Brodowiska#/media/Plik:AirPollutionSource.jpg (CC-License)



Smog w Nowym Jorku

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SmogNY.jpg#/media/Plik:SmogNY.jpg> (CC-License)

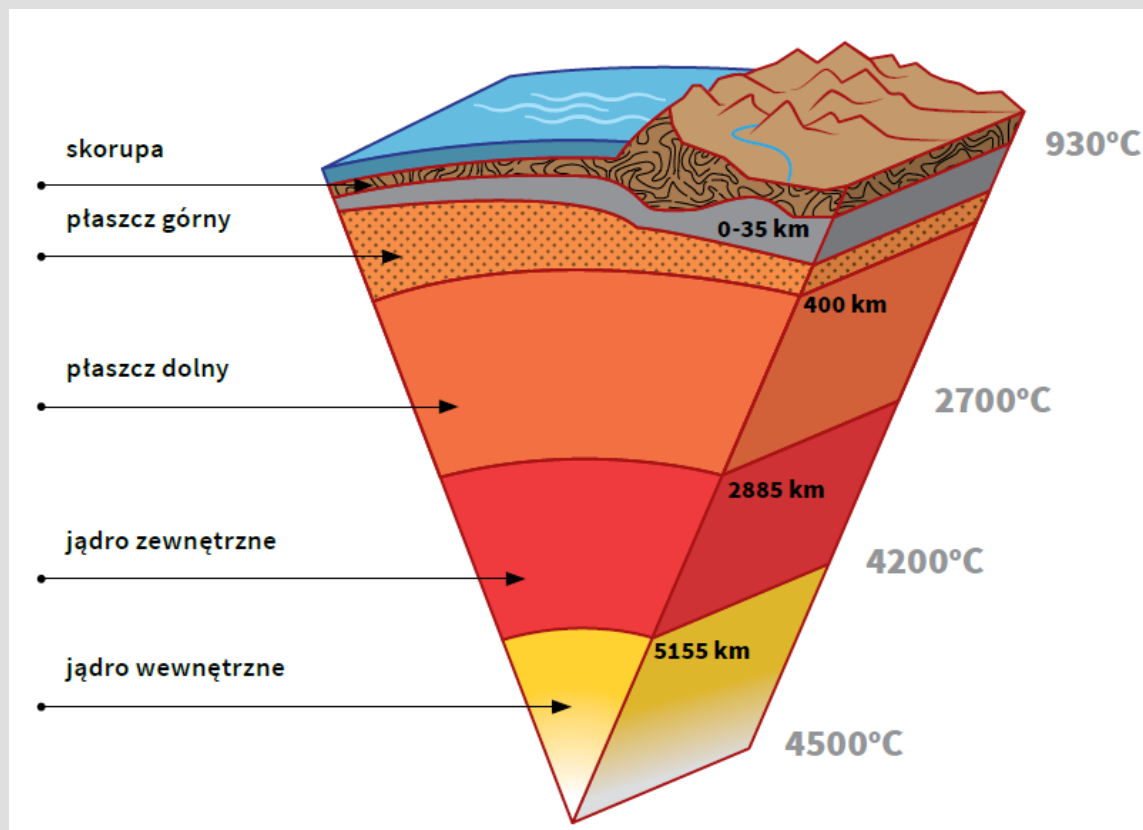
CO TO JEST ENERGIA GEOTERMICZNA?



- ✓ To zasoby ciepła zakumulowanego we wnętrzu Ziemi
- ✓ To naturalna energia zawarta w skałach i wodach, wypełniających przestrzeń w formie porów i szczelin znajdujących się w skorupie ziemskiej

ENERGIA GEOTERMICZNA

- ✓ Temperatura Ziemi wzrasta w kierunku przesuwania się w głąb skorupy ziemskiej



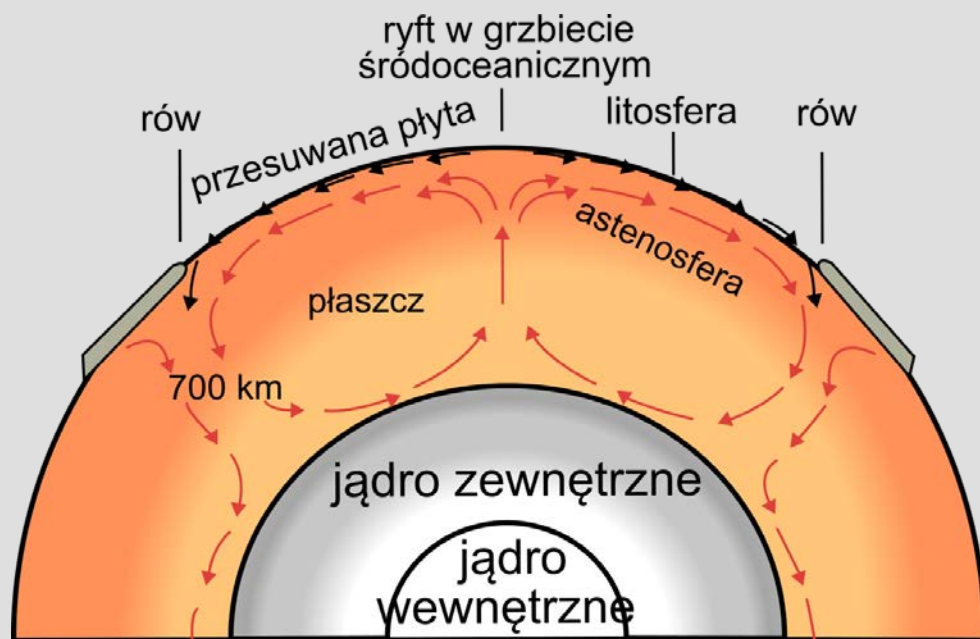
Budowa wnętrza Ziemi i temperatury

<http://naszaenergia.kujawsko-pomorskie.pl/>

ENERGIA GEOTERMICZNA

✓ Ciepło z wnętrza Ziemi pochodzi z dwóch źródeł:

- 1) Około 45-90% ciepła pochodzi z rozpadu pierwiastków promieniotwórczych Uranu (^{238}U) i Toru (^{232}Th) w ziemskim płaszczu
- 2) Pozostałe ciepło pochodzi z ochładzania się płaszcza Ziemi, z tarcia wewnętrznego wywołanego siłami pływowymi i zmianami prędkości obrotu Ziemi



Budowa Ziemi i przemieszczanie się płyt

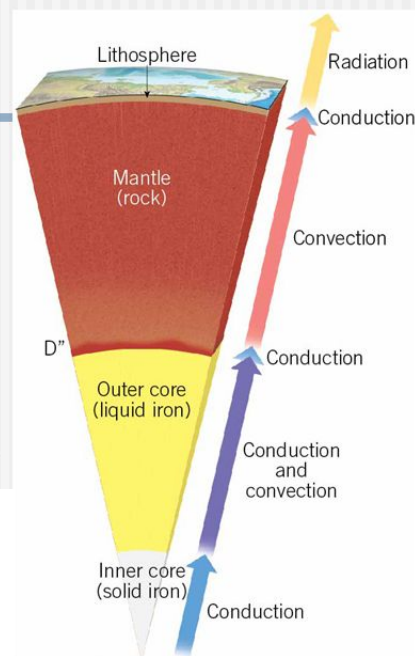
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oceanic_spreading_pl.svg
(CC-License)

ENERGIA GEOTERMICZNA

✓ Ciepło jądra Ziemi jest transportowane do skorupy ziemskiej przez płaszcz Ziemi

SPOSOBY WYMIANY CIEPŁA

- **PRZEWODZENIE**
atomy substancji
- **KONWEKCJA**
ruch, cyrkulacja
- **PROMIENIOWANIE**
emisja energii cząstek lub fal



Wycinek Ziemi – sposoby transportu ciepła we wnętrzu Ziemi

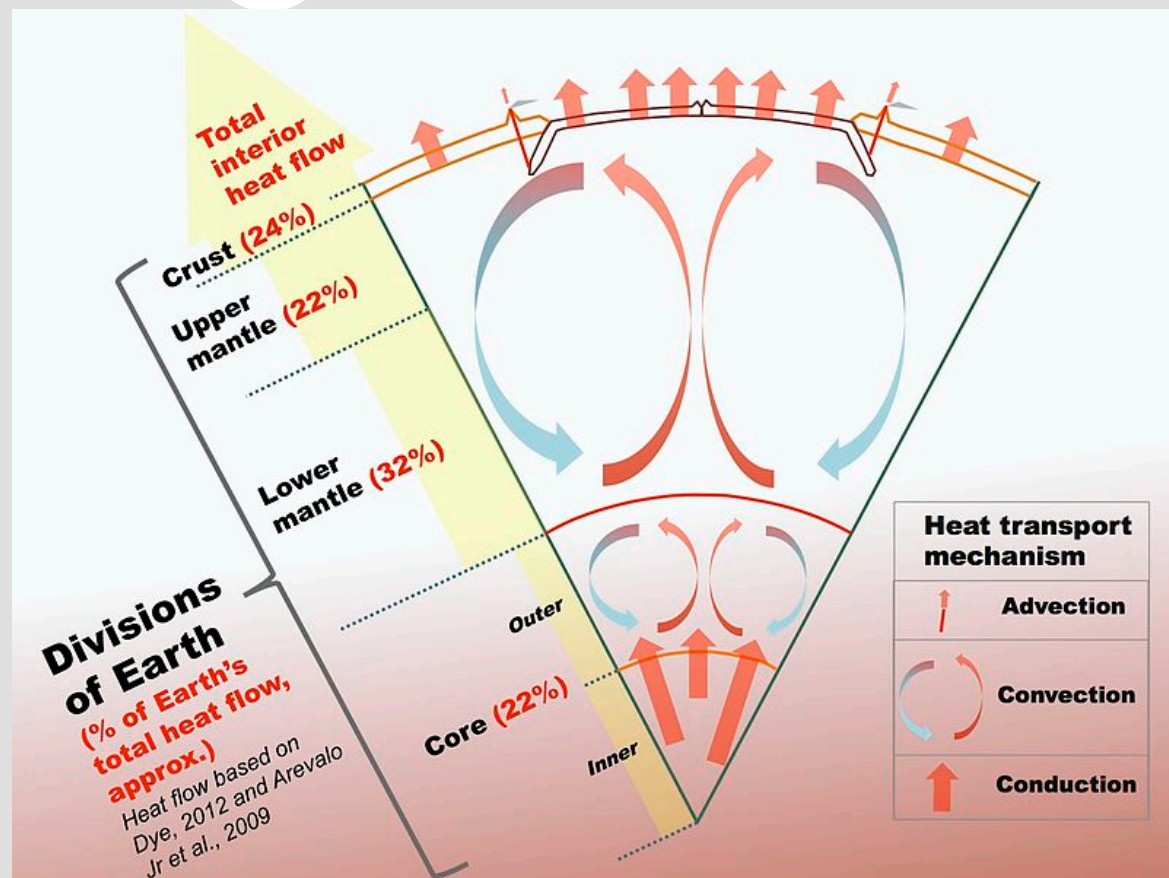
<https://slideplayer.com/slide/9377995/>

(CC-License)

ENERGIA GEOTERMICZNA



- ✓ Transport ciepła od jądra przez warstwy Ziemi na powierzchnię zachodzi przez:
 - przewodzenie,
 - konwekcję
 - promieniowanie



Wycinek Ziemi – sposoby transportu ciepła we wnętrzu Ziemi

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Heat_flow_of_the_inner_earth.jpg
(CC-License)

ENERGIA GEOTERMICZNA

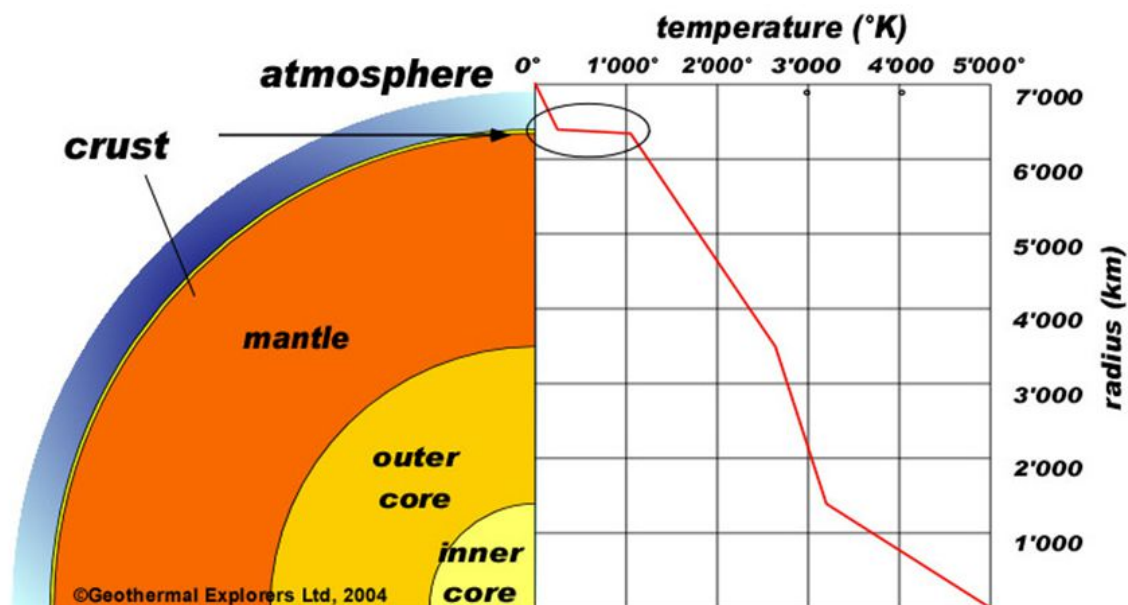


- W jądrze Ziemi zachodzi rozpad pierwiastków promieniotwórczych, którego efektem jest wysoka temperatura dochodząca do ok. 4500 °C
- **Temperatura ta maleje w miarę zbliżania się do powierzchni Ziemi o 15-80 °C na jeden kilometr, w zależności od rodzaju skał i warunków geologicznych**
- Poza obszarami aktywnymi tektonicznie przyjmuje się, że średni **gradient temperatury** (zmiana temperatury) skorupy ziemskiej **wynosi 25-30 °C/km**

ENERGIA GEOTERMICZNA



Earth Temperature Gradient



5

Profil temperatury (gradient temperatury) wzdłuż promienia Ziemi

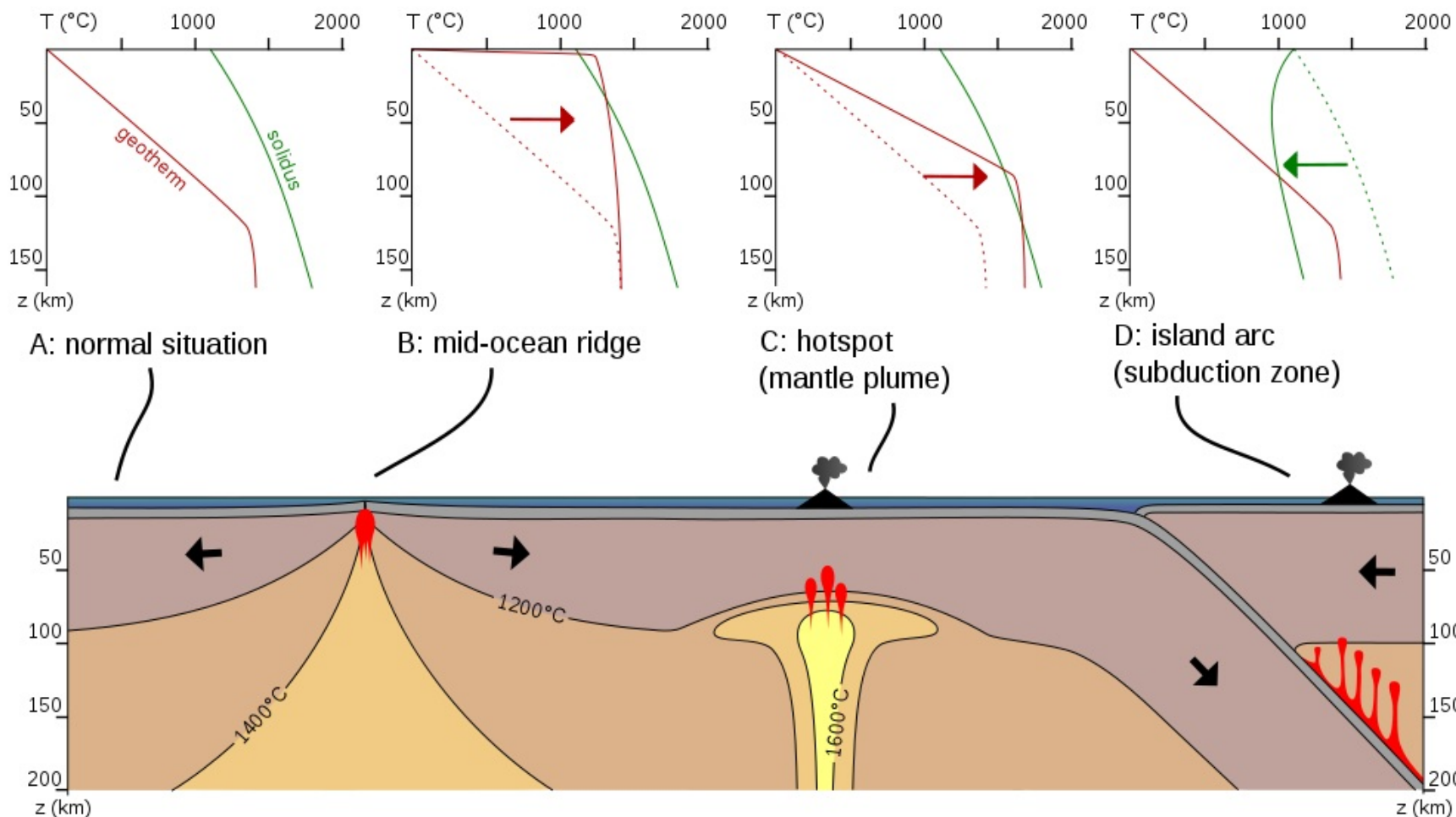
<https://www.slideshare.net/MakmurSaini1/geothermal-energy-54630023>

ENERGIA GEOTERMICZNA



- Z punktu widzenia możliwości praktycznego wykorzystania tego gradientu rozróżnia się następujące rejony geotermiczne:
 - hipertermiczny z gradientem temperatury większym niż $80\text{ }^{\circ}\text{C/km}$
 - semitermiczny od 40 do $80\text{ }^{\circ}\text{C/km}$
 - normalny z gradientem do $40\text{ }^{\circ}\text{C/km}$

PRZYKŁADY GEOTERMICZNYCH GRADIENTÓW TEMPERATURY



Przykłady geotermicznych gradientów temperatury

<http://www.geologyin.com/2014/12/geothermal-gradient.html>

ENERGIA GEOTERMICZNA



- ✓ Część ciepła jądra Ziemi jest transportowana do skorupy ziemskiej przez płaszcz
- ✓ Szacuje się, że strumień ciepła wypływającego na powierzchnię Ziemi to ponad 45-60 TW (1 terawat = 10^{12} wat)
- ✓ Strumień ciepła geotermalnego wynoszący około $0,063 \text{ W/m}^2$ daje w efekcie wzrost temperatury w kierunku środka Ziemi o około $25\text{-}30 \text{ }^\circ\text{C/km}$, co przy uwzględnieniu objętości kuli ziemskiej stanowi praktycznie niewyczerpane źródło energii

ENERGIA GEOTERMICZNA A ENERGIA GEOTERMALNA



- ✓ Energia geotermiczna to energia strumienia ciepła wynikającego z gradientu temperatury skorupy ziemskiej
- ✓ Energia geotermalna przejawia się w postaci gorących wód występujących naturalnie w Ziemi lub wód wprowadzanych do gorących skał podziemnych

ENERGIA GEOTERMALNA



ZASOBY ENERGII GEOTERMALNEJ

hydrotermiczne



- Zasoby hydrotermiczne odnoszą się do wody, pary lub mieszaniny parowo-wodnej, które to czynniki występują w szczelinach skalnych, żyłach wodnych lub w warstwach wodonośnych i są wykorzystywane obecnie

petrotermiczne

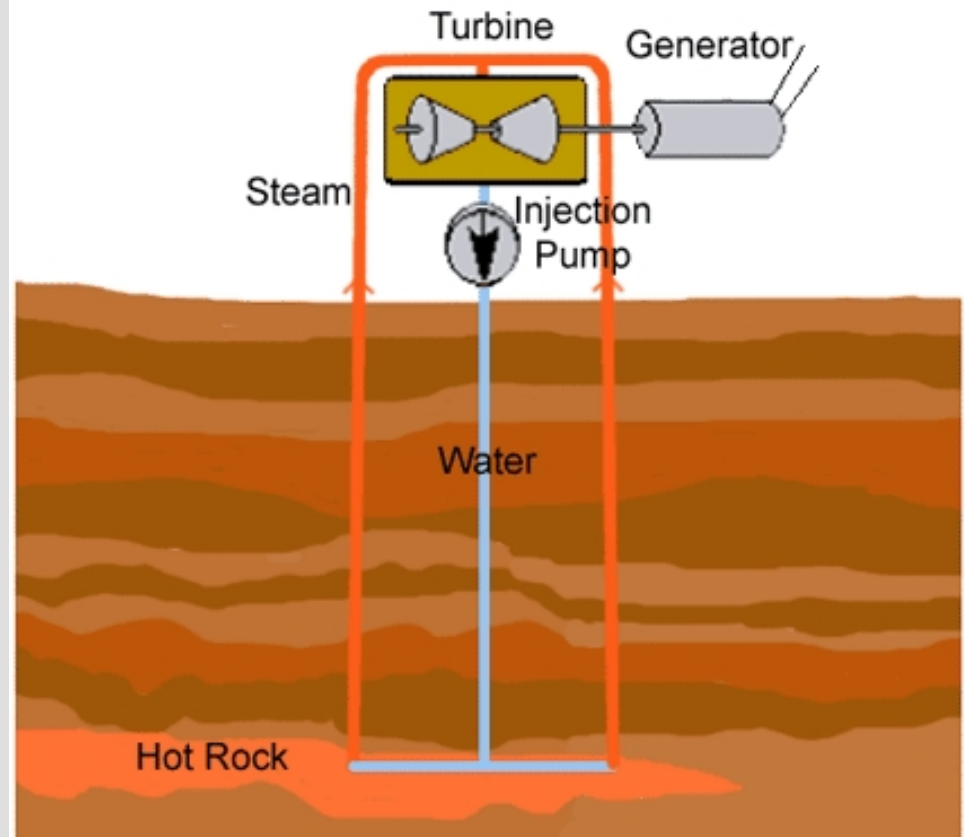


- Zasoby petrotermiczne to energia cieplna zgromadzona w suchych, ogrzanych i porowatych skałach, ma ona znaczenie perspektywiczne (przewiduje się wykorzystywanie w przyszłości np. techniką ang. Hot Dry Rocks – HDR)

ZASOBY PETROTERMICZNE ENERGII GEOTERMANEJ

- ✓ Energię tę można pozyskiwać przez wtłaczanie w naturalne lub sztucznie wytworzone szczeliny skalne pod dużym ciśnieniem wody, która przejmuje ciepło gorących skał, po czym jest wypompowywana na powierzchnię Ziemi i wykorzystywana.
- ✓ Istnieje możliwość wykonania odwiertów i wykorzystania energii petrotermicznej zgromadzonej na głębokości 5000 m, jednak praktycznie opłacalne jest dokonywanie odwiertów jedynie do głębokości 2000 metrów (2 km)

Dry Hot Rock Power Generation

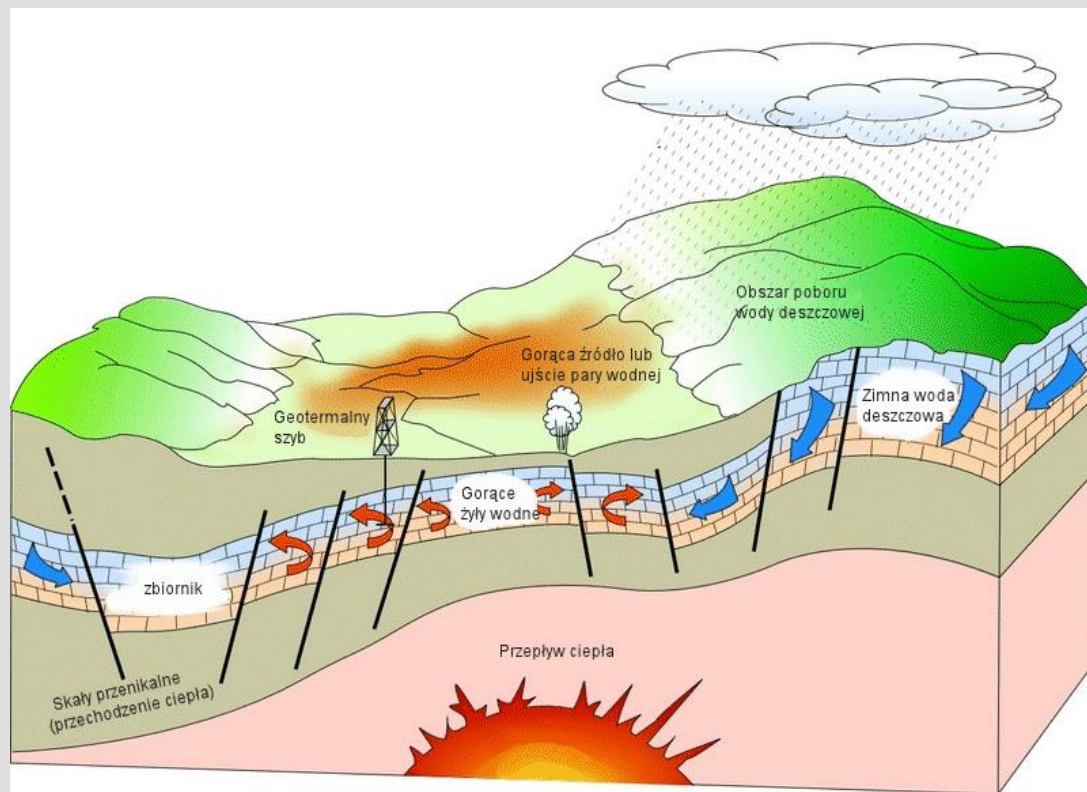


Schemat wykorzystania energii suchych gorących skał (HDR)

<https://www.greenbizcafe.com/hot-dry-rock-geothermal-energy/>

ZASOBY HYDROTHERMICZNE ENERGII GEOTERMALNEJ

- ✓ Pokłady wód geotermalnych powstają w wyniku wnikania wód opadowych w głąb Ziemi, gdzie w kontakcie z aktywnymi ogniskami magmy lub ciepłymi skałami wody podgrzewają się a następnie przepływają w kierunku powierzchni jako gorąca woda lub para wodna

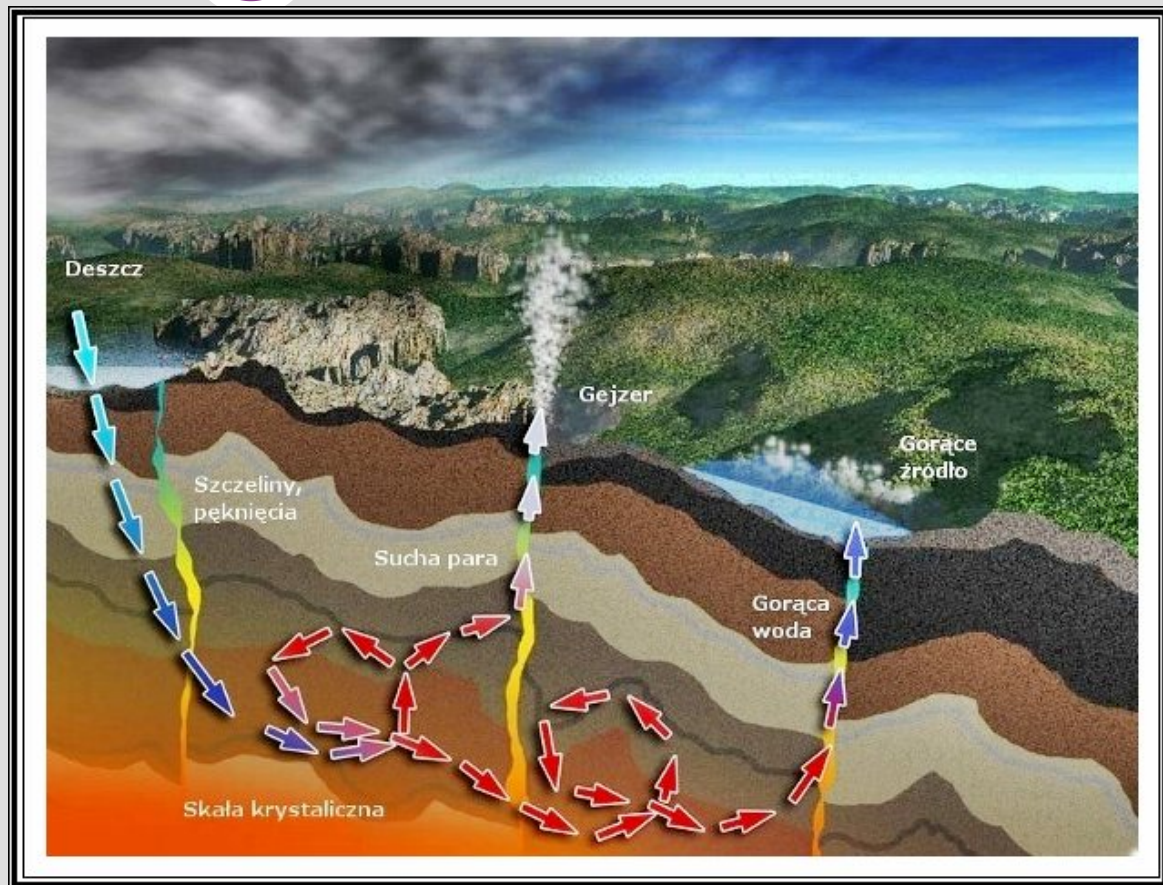


Pokłady wód geotermalnych

<https://frakdawid.wordpress.com/2012/02/22/energia-wnetrza-ziemi/>

ZASOBY HYDROTHERMICZNE ENERGII GEOTERMALNEJ

- ✓ Głębokość zalegania złóż wody geotermalnej jest mocno zróżnicowana w poszczególnych miejscach globu, ale najczęściej zawiera się w granicach 1000-4500 metrów, i więcej
- ✓ Wody geotermalne najszerze zastosowanie znajdują w energetyce cieplnej, ale duże możliwości jej wykorzystania istnieją również w innych gałęziach przemysłu



Pokłady wód geotermalnych

<https://milenarogozinska.wordpress.com/2012/02/13/podroz-do-wnetrza-ziemi-czyli-energia-geotermalna/>

GEJZERY – NATURALNE ZASOBY ENERGII GEOTERMALNEJ



- ✓ Gejzer – wybuchająca głęboko z Ziemi para wodna o wysokiej temperaturze
- ✓ Spektakularne zjawisko występujące w Islandii (nazwa pochodzi z islandzkiego „geysa” – „wylewać się”) a także w Nowej Zelandii (Rotorua), USA (park Yellowstone), Kamczatce, Japonii
- ✓ Wybuchom gejzerów mogą towarzyszyć wyziewy trujących gazów

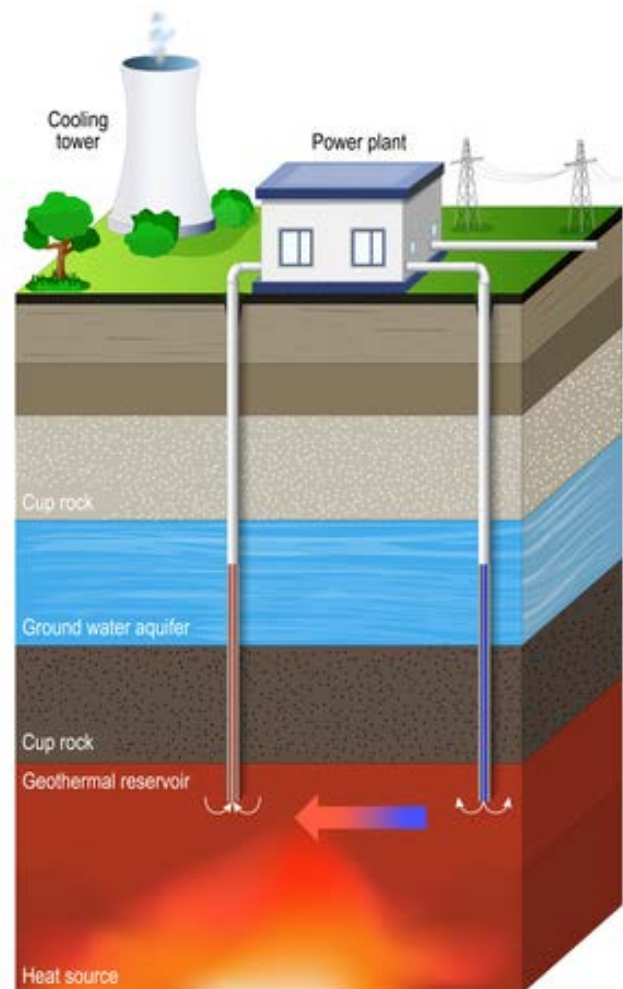


Geysir (Islandia), wysokość 70-80 m

źródło własne

WYDOBYCIE ENERGII GEOTERMALNEJ

- ✓ Wody geotermalne wydobywa się na powierzchnię ziemi przy pomocy odwiertów wydobywczych
- ✓ Po odebraniu ciepła woda zatłaczana jest odwiertem chłonnym z powrotem do złoża
- ✓ Najgłębsze otwory geotermalne sięgają około 5000 m



Otwory eksploatacyjne do pozyskania energii geotermalnej

<https://fysik.ugglansno.se/geotermisk-varme/>

ZASTOSOWANIE ENERGII GEOTERMALNEJ



- ✓ W przeciwieństwie do paliw kopalnych energia geotermalna jest relatywnie czysta i przydatna do zaspokojenia wielu potrzeb człowieka
- ✓ Może być wykorzystana do celów grzejnych, przemysłowych i do wytwarzania energii elektrycznej

ZASTOSOWANIE ENERGII GEOTERMALNEJ



GŁĘBOKOŚĆ WYSTĘPOWANIA ZŁOŻA

Geotermia płytka



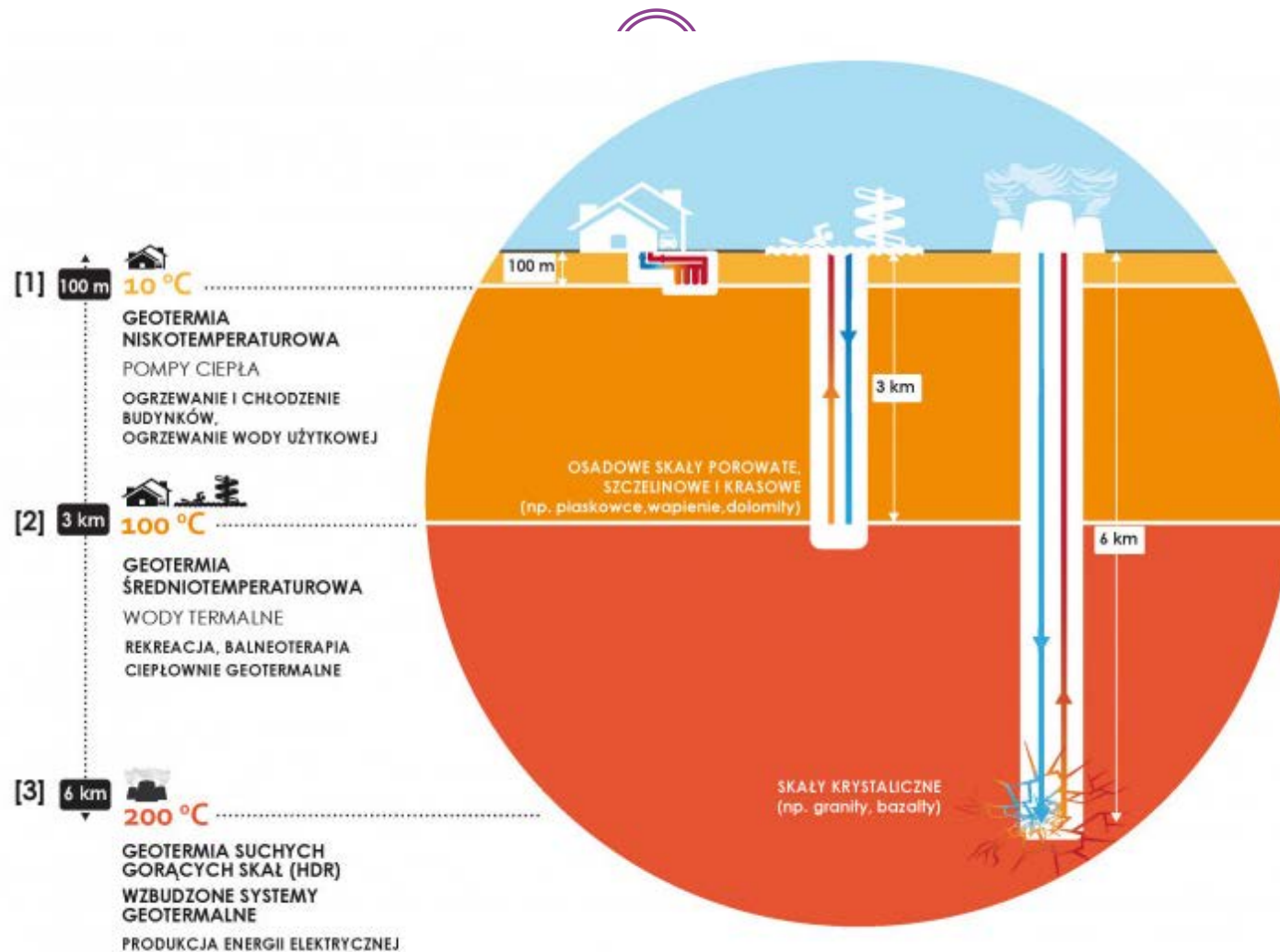
- Zasoby energii pochodzenia geotermicznego, skumulowane w wodach i gruntach znajdujących się na stosunkowo niewielkich głębokościach i o temperaturach na tyle niskich (nieprzekraczających 20°C), że ich bezpośrednie wykorzystanie do celów energetycznych jest nieopłacalne
- Można je efektywnie eksploatować w sposób pośredni przy użyciu **pomp ciepła**

Geotermia głęboka



- Energia wydobywana za pomocą otworów wiertniczych, do około 3-4 km (opłacalność ekonomiczna do około 2 km)

ZASTOSOWANIE ENERGII GEOTERMALNEJ



<https://www.pgi.gov.pl/wody-mineralne/przydatne/geotermia.html>

ZASTOSOWANIE ENERGII GEOTERMALNEJ



Przykłady wykorzystania ciepła geotermalnego

Temperatura, °C	ZASTOSOWANIE
20/30	Hodowla ryb / odladzanie, ogrzewanie gleby
40/50	Baseny kąpielowe, ogrzewanie podłogowe, suszenie gleby/uprawa grzybów, rozkład biomasy, balneologia, hydroterapia
60/70	Ogrzewanie szklarni, hodowla zwierząt/przemysł mięsny i spożywczy, przygotowanie wody użytkowej
80/90	Ogrzewanie szklarni/ogrzewanie mieszkań, suszenie ryb
100/110	Dehydratacja materiałów ogrodniczych, suszenie jarzyn/suszenie lekkich struktur betonowych
120/140	Produkcja wody pitnej przez destylację/konserwacja żywności, rafinacja cukru/produkcja rolna i przemysłowa, suszenie produktów rolnych
150/160	Produkcja aluminium/suszenie mączki rybnej, drewna budowlanego
180/200	Odparowanie roztworów o wysokiej koncentracji składników/produkcja papieru/produkcja energii elektrycznej

BEZPOŚREDNIE ZASTOSOWANIE WODY GEOTERMALNEJ



BASENY TERMALNE w Polsce:

- termy Maltańskie (Poznań),
- Choczołowskie termy (Zakopane),
- Termy Uniejów,
- Termy Cieplickie,
- Termy Mszczonów ,
- łaźnia turecka (Łądek Zdrój)
- Przedsiębiorstwo uzdrowiskowe Ustroń
- i inne



Termy Choczołowskie (Polska)

https://infobasen.pl/basen/zakopane_choczołowskie_termy.html

BEZPOŚREDNIE ZASTOSOWANIE WODY GEOTERMALNEJ



BASENY TERMALNE w Niemczech:

- Therme Erding
- Spreewald Therme in Burg
- Salztherme Lüneburg
- Badewelt Waikiki
- Königstherme Königsbrunn
- Fürthermare Water Park
- Therme Obernsees
- Fackelmann Therme Hersbruck
- i inne



Therme Erding (Niemcy)

https://infobasen.pl/basen/erding_therme_erding.html

BEZPOŚREDNIE ZASTOSOWANIE WODY GEOTERMALNEJ



**HODOWLA RYB - Atlantic salmon farm using
thermal water**

<http://www.lososjurajski.pl/>



UPRAWA ROŚLIN W SZKLARNIACH

<https://nea.is/media/jardhiti/popup/grodurhus.jpg>

BEZPOŚREDNIE ZASTOSOWANIE WODY GEOTERMALNEJ



**INSTALACJE TOPNIENIA ŚNIEGU
(podjazdy, mosty, drogi, chodniki)**

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Holland_-_Home_of_the_heated_sidewalks.jpg



**SUSZENIE PRODUKTÓW SPOŻYWCZYCH
(ryby Islandia, kawa El Salvador)**

<https://nea.is/geothermal/direct-utilization/industrial-uses/>
<https://www.thinkgeoenergy.com/big-opportunities-for-geothermal-direct-use-of-geothermal-in-el-salvador/>

POŚREDNIE ZASTOSOWANIE WODY GEOTERMALNEJ



- ✓ Ciepłownie geotermalne, budowane w celach grzewczych zamiast tradycyjnych kotłowni węglowych
- ✓ Elektrownie geotermalne, w których ciepło wnętrza Ziemi przetwarzane jest na energię elektryczną
- ✓ Pompy ciepła wykorzystujące lokalne źródła geotermalne do ogrzewania pojedynczych budynków

POŚREDNIE ZASTOSOWANIE WODY GEOTERMALNEJ



- ✓ Wody geotermalne i pary osiągające temperaturę rzędu 120°C i wyższą opłaca się wykorzystać do produkcji energii elektrycznej. Jednostkowy koszt geotermalnej energii cieplnej jest szacunkowo ok. 20% niższy od kosztu energii cieplnej wytwarzanej w ciepłowni konwencjonalnej (np. przy spalaniu węgla)
- ✓ Uznaje się, że wydobycie wód geotermalnych jest opłacalne, gdy woda zalegająca nie głębiej niż 2,5 km, osiąga temperaturę 65°C , a jej zasolenie nie przekracza 30 g/l

http://geotermia.inet.pl/asp/pl_start.asp?typ=14&menu=27&strona=1&sub=26#

POŚREDNIE ZASTOSOWANIE WODY GEOTERMALNEJ



Ciepłownia geotermalna w Neubrandenburgu była pilotażowym projektem w Niemczech w zakresie wykorzystania energii geotermalnej. Wydobywana z głębin woda termalna jest wykorzystywana do ogrzewania miejskiego od 1989 r.



GEOTERMISCHE HEIZZENTRALE NEUBRANDENBURG

<https://www.geothermie.de/header-service-menu/about-us-en.html>

POŚREDNIE ZASTOSOWANIE WODY GEOTERMALNEJ



Elektrownia geotermalna Krafla (Islandia), w pobliżu wulkanu Krafla, została oficjalnie uruchomiona w 1977 roku. Dzięki 33 odwiertom jest w stanie wyprodukować 500 GWh energii elektrycznej rocznie przy zainstalowanej mocy 60 megawatów.



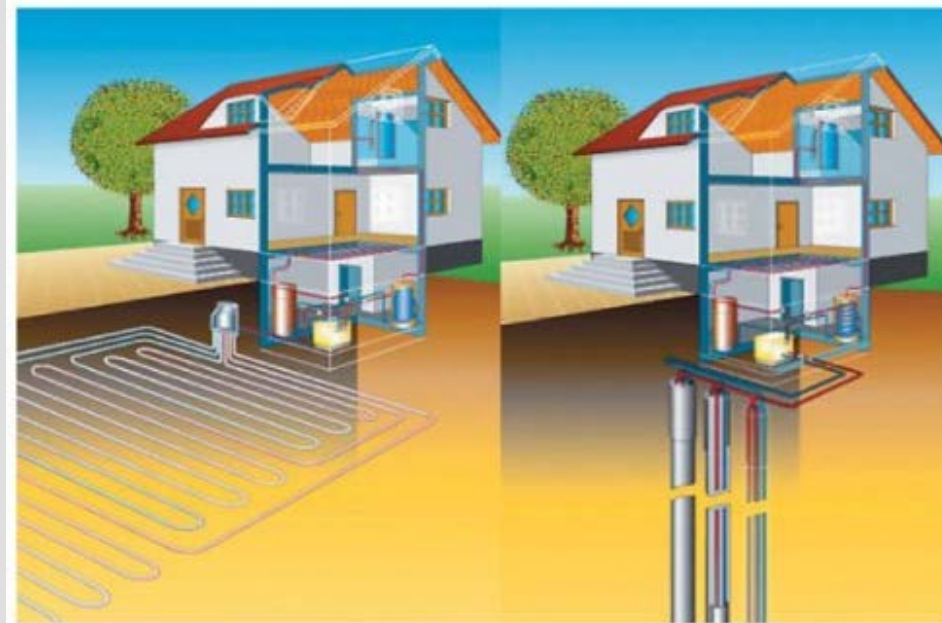
ELEKTROWNIA GEOTERMALNA KRAFLA (ISLANDIA)

https://en.wikipedia.org/wiki/Krafla_Power_Station

POŚREDNIE ZASTOSOWANIE WODY GEOTERMALNEJ

Geotermalne systemy niskotemperaturowe, potocznie zwane gruntowymi pompami ciepła składają się z trzech zasadniczych elementów:

- dolne źródło ciepła (wymiennik, dzięki któremu pobierane jest ciepło ziemi)
- pompa ciepła (rozumianą jako urządzenie, które umożliwia wykorzystanie niskich temperatur ze środowiska gruntowo-skalnego i podniesienie pobranej energii na wyższy poziom termodynamiczny)
- górne źródło ciepła, będące systemem rozprowadzania ciepła w ogrzewanych pomieszczeniach



BUDYNKI Z POMPĄ CIEPŁA

<https://www.ekspertbudowlany.pl/artykul/eko-dom/166889,pompy-ciepła>

ENERGIA GEOTERMALNA W POLSCE



- ✓ W celu uzyskania możliwie dokładnej wiedzy na temat współczesnych podpowierzchniowych warunków termicznych na terenie Polski geolodzy z Państwowego Instytutu Geologicznego sporządzili m.in. mapę temperatury na głębokości 2000 metrów pod powierzchnią terenu, na poziomie szczególnie przydatnym do oceny warunków pozyskiwania energii z wód termalnych. Dane do konstrukcji mapy uzyskano z 385 otworów wiertniczych

ENERGIA GEOTERMALNA W POLSCE

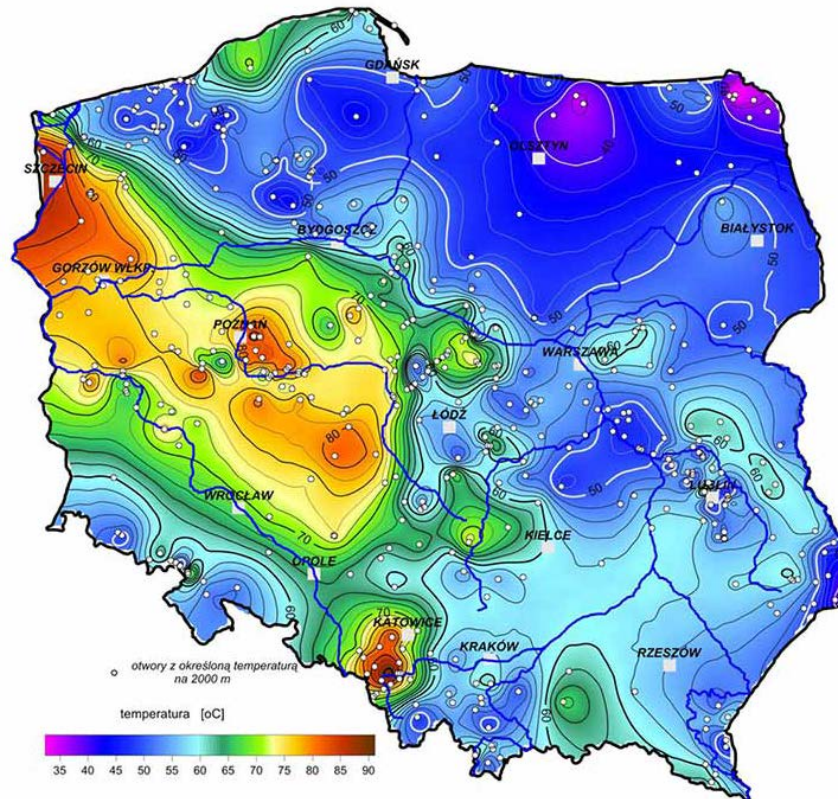


- ✓ Wartość temperatury na tej głębokości zmienia się od około 30°C w NE Polsce do ponad 92°C na przedpolu Sudetów i obszarze Niziny Szczecińskiej. Na niższych poziomach spodziewane jest jeszcze większe zróżnicowanie temperatur.
- ✓ Opracowano także mapy temperatur panujących na większych głębokościach, w celu zaplanowania ich wykorzystania w technologiach, które mogą być opłacalne dopiero w przyszłości

ENERGIA GEOTERMALNA W POLSCE



PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY



Mapa temperatury na głębokości 2000 metrów p.p.t. (Szewczyk, 2010 – zmodyfikowana)

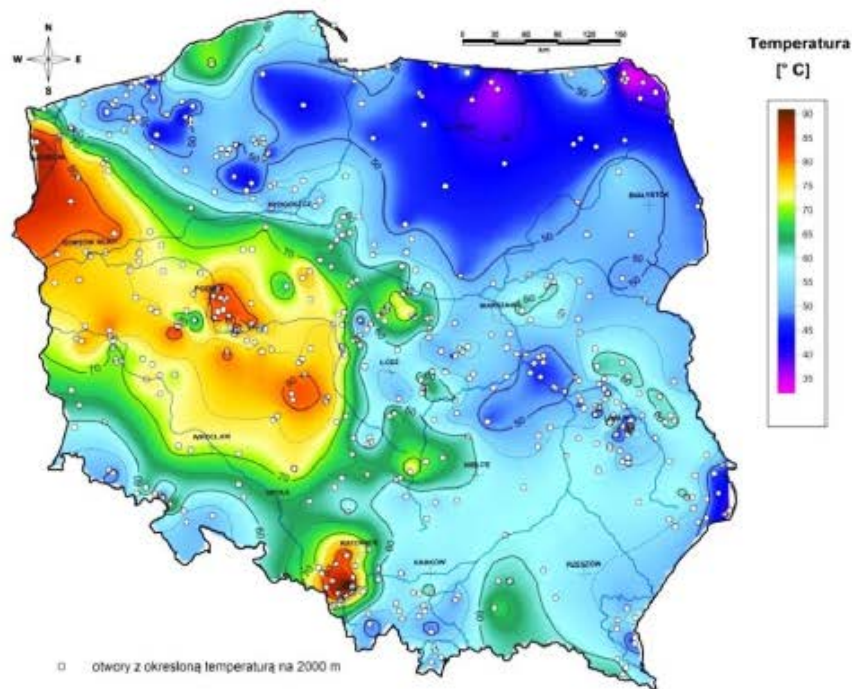
<https://www.jednaziemia.pl/planeta-ziemia/3703-temperatura-ziemi.html>

SZEWCZYK J. 2010 – Geofizyczne oraz hydrogeologiczne warunki pozyskiwania energii geotermicznej w Polsce. Przegląd Geologiczny, 58, 7: 566-573

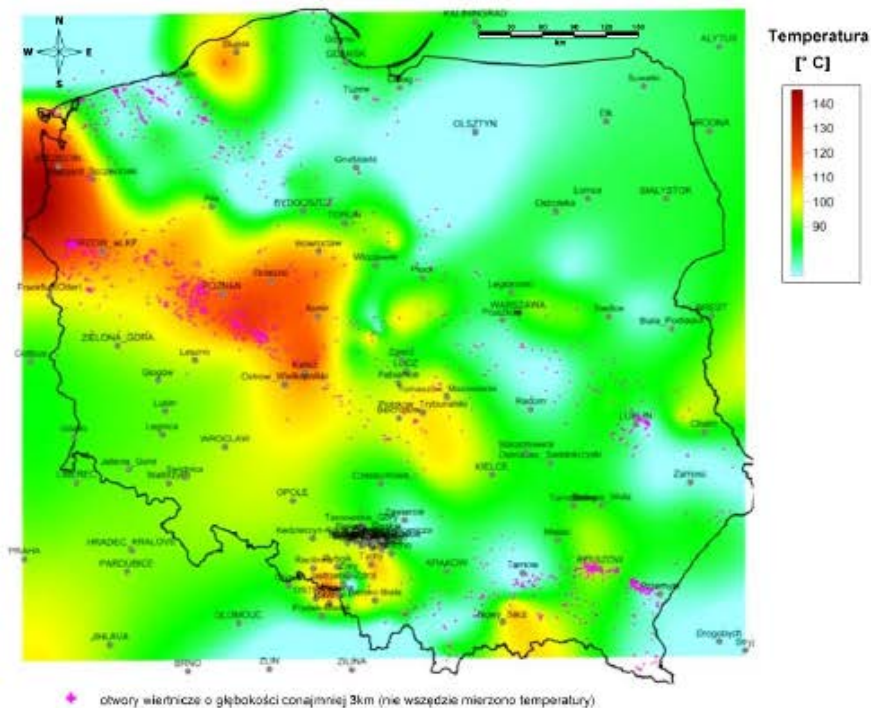
ENERGIA GEOTERMALNA W POLSCE

ROZKŁAD TEMPERATURY W POLSCE NA GŁĘBOKOŚCI:

2 km



3 km



Mapa temperatury na głębokości 2000 i 3000 metrów p.p.t. (Szewczyk, 2010)

ENERGIA GEOTERMALNA W POLSCE



- ✓ W Polsce korzystne warunki geotermalne występują na obszarze ponad 250 tys. km² (około 80% powierzchni kraju)
- ✓ Uznaje się, iż wydobywalne zasoby wód geotermalnych są najbogatszym źródłem energii w Polsce zaraz po zasobach węgla kamiennego. Ich ilość przekracza szacowane ilości węgla brunatnego, ropy i gazu
- ✓ Na terenie Polski wyróżniamy 3 prowincje geotermalne:
 - centralnoeuropejską,
 - przedkarpacką
 - karpacką

ENERGIA GEOTERMALNA W POLSCE



- ✓ Temperatura wody występującej na tych obszarach w skałach osadowych na głębokości od 1 do 10 km wynosi od 30-100°C (lokalnie nawet 200°C).
- ✓ Jako najbardziej korzystne szacuje się wykorzystanie wód geotermalnych w obrębie niecki podhalańskiej, a także okręgu grudziądzko-warszawskiego oraz szczecińskiego (instalacje geotermalne w Pyrzycach, Mszczonowie, Uniejów, Bańska-Białym Dunajcu)
- ✓ Naturalne wypływy wód geotermalnych na terenie Polski zdarzają się bardzo rzadko. Występują m.in. na terenie Sudetów – Cieplice, Łądek Zdrój

ZALETY ENERGII GEOTERMALNEJ



- W przeciwieństwie do paliw kopalnych energia geotermalna jest relatywnie czysta i przydatna do zaspokojenia wielu potrzeb człowieka
- Może być wykorzystana do celów grzejnych, przemysłowych i do wytwarzania energii elektrycznej
- Występuje powszechnie na kuli ziemskiej
- Jest niewyczerpywalna
- Można korzystać z niej w sposób ciągły – warunki meteorologiczne nie mają na nią wpływu
- Jest tania – przyjmuje się, że jednostkowy koszt geotermalnej energii cieplnej jest o ok. 20% niższy od kosztu energii cieplnej wytwarzanej w ciepłowni konwencjonalnej
- Nie wpływa znacząco na wygląd krajobrazu
- Jest wykorzystywana w ponad 60 krajach świata, w tym w Polsce

WADY ENERGII GEOTERMALNEJ



- Powoduje emisję szkodliwych gazów poprzez uwalnianie radonu, siarkowodoru i innych gazów (pochłanianie tych gazów podraża koszty)
- Uwalnianie wraz z oparami produktów rozpadu pierwiastków promieniotwórczych (istnieje niebezpieczeństwo zanieczyszczenia atmosfery, wód powierzchniowych i głębinowych),
- Temperatura oraz wydajność źródła uzależnione są od wieku i budowy skorupy ziemskiej w danym miejscu
- Generuje wysokie koszty inwestycyjne
- Istnieje duże ryzyko niepowodzenia, które wciąż towarzyszy pracom poszukiwawczym

**Energia+Technologia=Szkoła+Zawód - Technologie energii odnawialnej w szkołach
dla wykwalifikowanych pracowników przyszłości
Energie+Technik=Schule+Beruf - Erneuerbare Energietechnik macht Schule
für Fachkräfte der Zukunft**

Projekt dofinansowany jest przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (EFRR)
w ramach programu Współpracy Interreg V A Meklemburgia-Pomorze Przednie / Brandenburgia / Polska