

Energetyka geotermalna

Dr inż. Tomasz Hałon

Eksploracja i pozyskiwanie źródeł energii geotermalnej

Metody eksploracji geotermalnej

► Geofizyczne

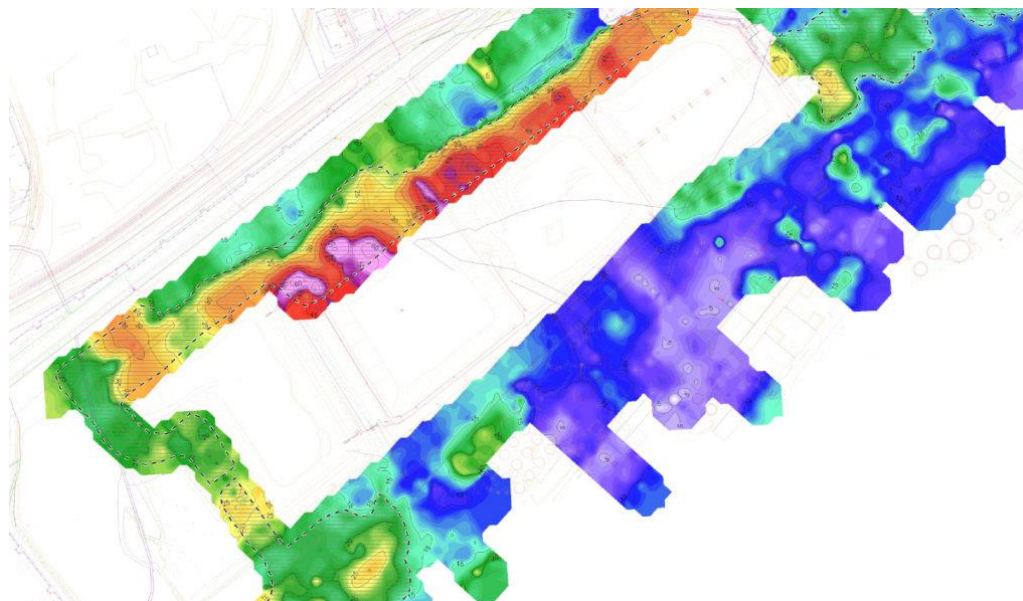
- Sejsmika refleksyjna i refrakcyjna
- Magnetotelluryka
- Elektromagnetyczna
- Metoda elektroopowa

► Geochemiczne

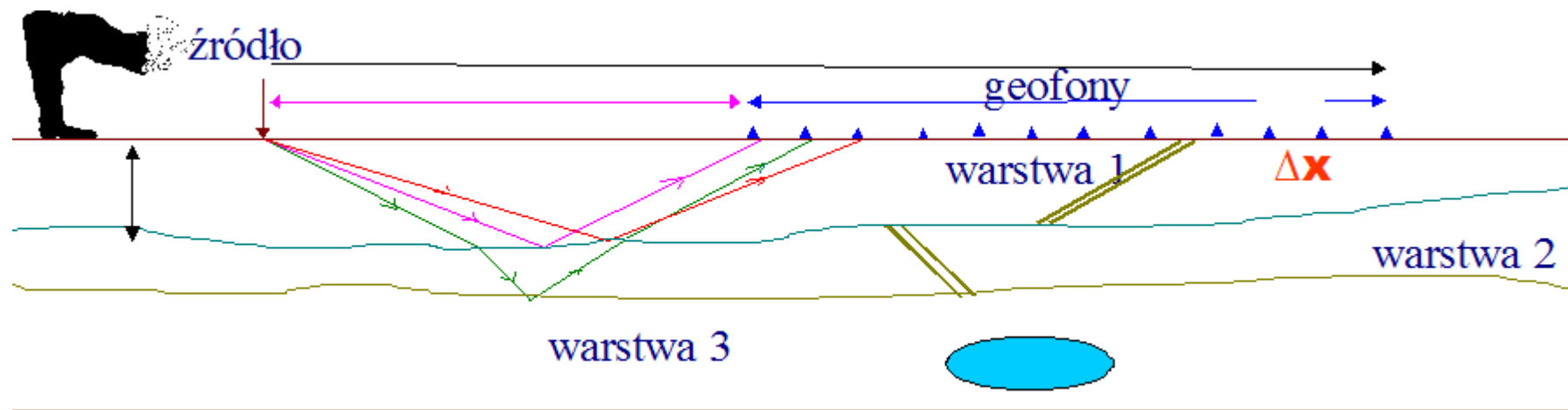
- Analiza chemiczna wód i gazów
- Termometria izotopowa

► Geologiczne

- Mapy litologiczne
- Struktury uskoku
- Warunki tektoniczne



Sejsmika refleksyjna i refrakcyjna

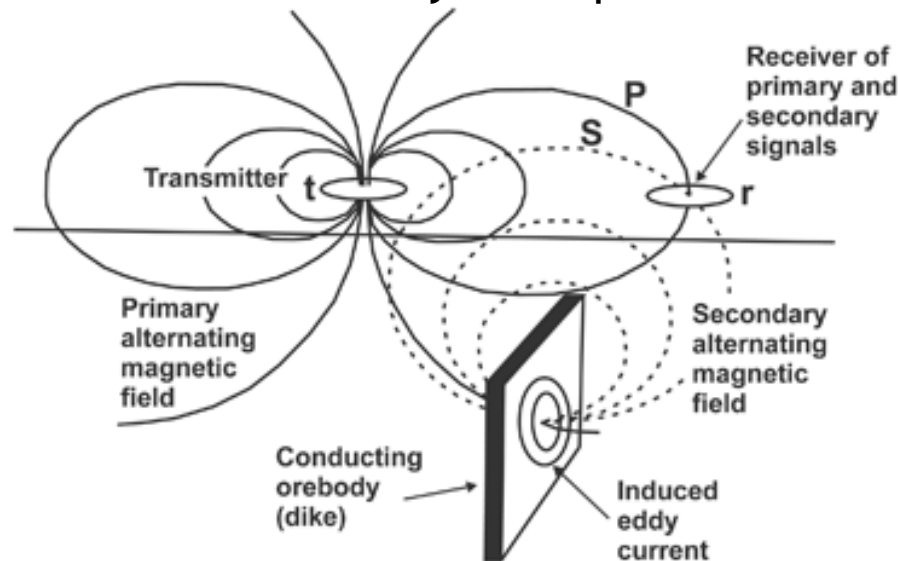


Rejestracja i analiza sztucznie wywołanej i odbitej od granic warstw geologicznych fali akustycznej. Pomiar czasu przyścia fali refragowanej od granic ośrodka geologicznego.



Elektromagnetyczna

Badania elektromagnetyczne (EM-VLF) polegają na pomiarze przewodności ośrodka poprzez rejestrację pól wtórnych, wytwarzanych przez ciała przewodzące, znajdujące się w podłożu. Metoda ta umożliwia dokonywanie pomiarów bez kontaktu z podłożem.



Nadajnik wytwarza pierwotne pole elektromagnetyczne, które generuje w ośrodku geologicznym wtórne pole elektromagnetyczne. Cewka odbiornika rejestruje wielkość pola wtórnego oraz stosunek pomiędzy polem pierwotnym i wtórnym. Wtórne pole (jego intensywność) zależy od oporności ośrodka, a co za tym idzie od litologii, wód podziemnych, zanieczyszczeń.

Magnetotelluryka

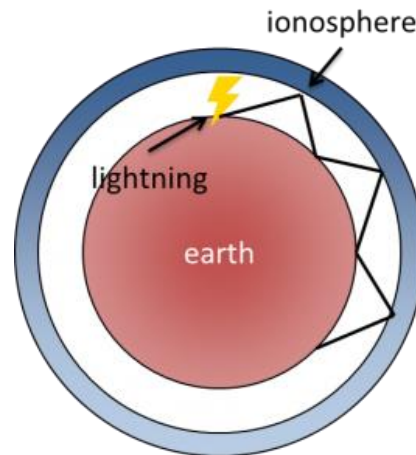
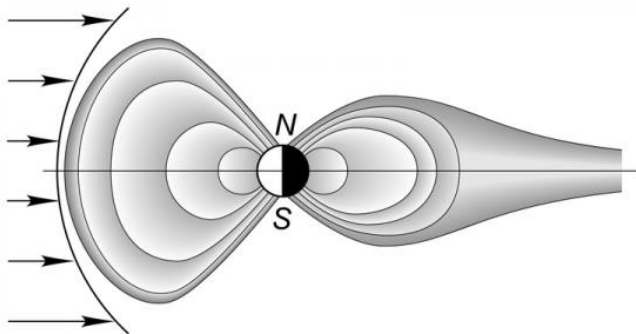
głębokości od
kilkunastu metrów do
setek kilometrów



Metoda elektromagnetyczna wykorzystuje harmonicznie zmienne pole elektromagnetyczne do rozpoznawania rozkładu oporności w ośrodku geologicznym. W przeciwieństwie do metod EM z kontrolowanym źródłem, które mogą wykorzystywać jako źródło pętlę indukcyjną, metoda MT opiera się na naturalnie występujących polach elektromagnetycznych. Zapewnia to szerokie i ciągłe spektrum fal pola elektromagnetycznego które indukują w ziemi prądy możliwe do rejestracji na powierzchni Ziemi.

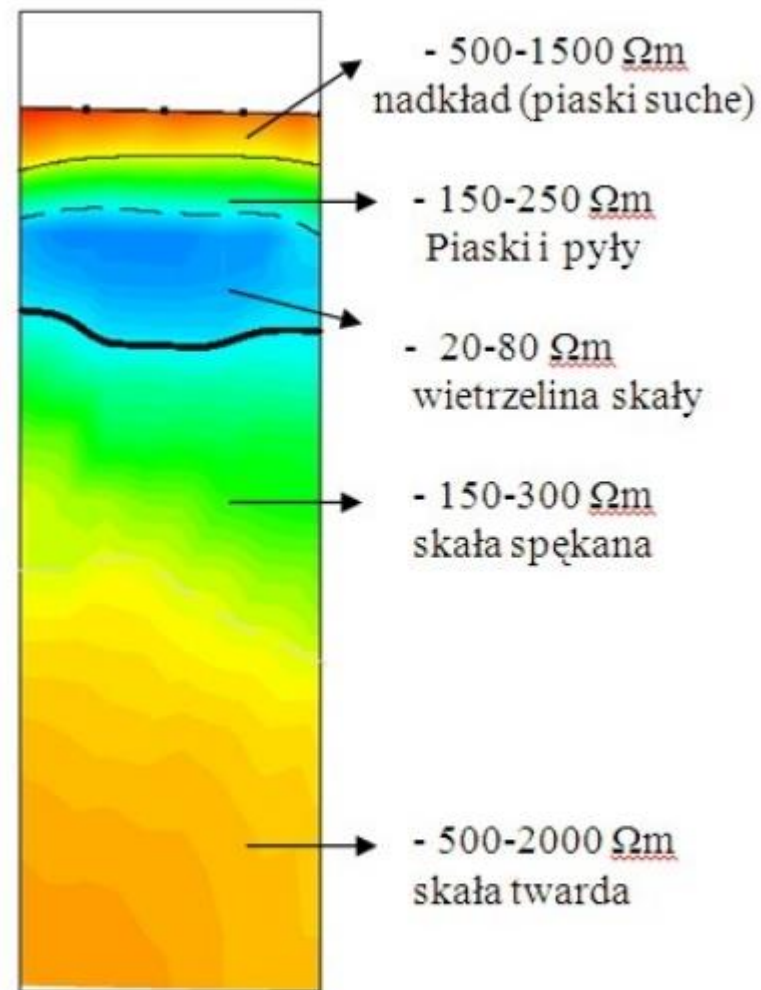
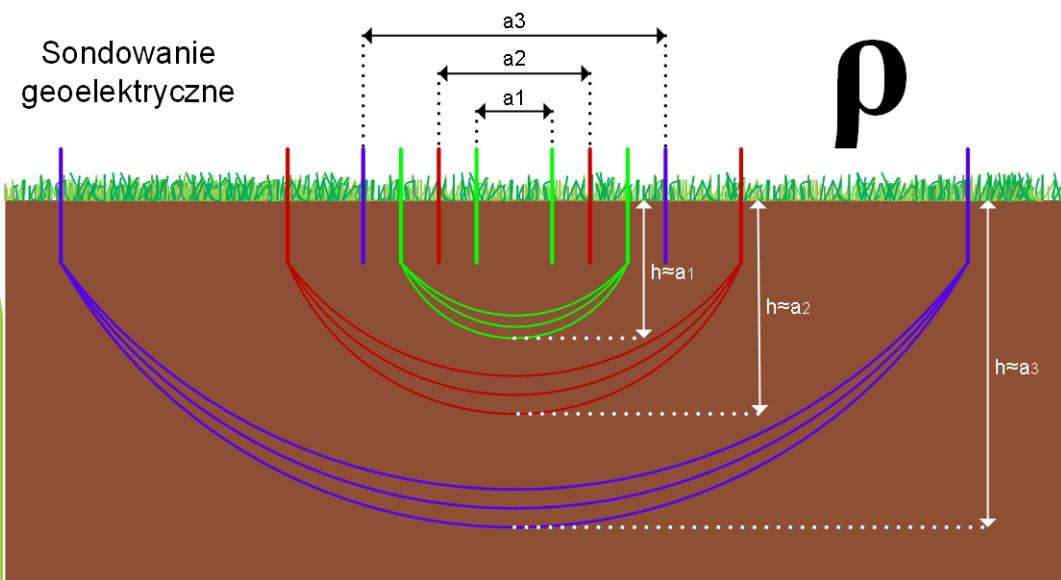
Magnetotelluryka

- Sondowanie magnetotelluryczne SMT i profilowania ciągłe CPMT. Sygnały o niskich częstotliwościach od 0,001 Hz do 1 Hz. Sygnały te generowane są wskutek oddziaływania wiatru słonecznego na ziemską magnetosferę.
- Sondowania audiomagnetotelluryczne AMT wykorzystujące sygnały o wysokiej częstotliwości od 1 Hz do 10 kHz. Generowane przez wyładowania atmosferyczne głównie w obszarze równikowym.
- Sondowania audiomagnetotelluryczne z kontrolowanym źródłem CSAMT. W badaniach tych wykorzystywane jest sztuczne źródło sygnału o stałej lokalizacji, znacznie oddalone od punktów pomiarowych.



Metoda elektroopowa

Metoda wykorzystująca zjawisko różnego przewodnictwa prądu elektrycznego gruntu w zależności od jego składu i struktury.



Rys.1 Typowy profil pionowy oporności



Analiza chemiczna wód i gazów

Wody termalne:

- ▶ Skład jonowy:
 - Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-
- ▶ Stężenia krzemionki (SiO_2) i boru (B)
- ▶ pH, zasolenie, przewodność elektryczna
- ▶ Skład izotopowy (np. $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) - termometria izotopowa

Gazy towarzyszące:

- ▶ CO_2 , H_2S , CH_4 , H_2 , N_2 , He, Ar
- ▶ Proporcje gazów: np. H_2/CH_4 , CO_2/H_2 , N_2/Ar
- ▶ Izotopy gazów (np. $^3\text{He}/^4\text{He}$) - wskazują na pochodzenie (magma vs. skorupowe)

Analiza chemiczna wód i gazów

Niektóre związki chemiczne w wodzie geotermalnej są w równowadze chemicznej z otaczającymi skałami tylko w określonych temperaturach.

Termometr	Co mierzy	Zakres temp.
SiO ₂	Stężenie krzemionki	80–250°C
Na-K	Stosunek jonów sodu i potasu	150–350°C
Na-K-Ca	Uwzględnia też wapń	70–300°C

Na podstawie składu gazów:

- ▶ reakcje hydrotermalne i aktywność magmowa
- ▶ He/Ar lub ³He/⁴He → identyfikacja głębokiego źródła magmowego

Termometria izotopowa

Frakcjonowanie izotopowe - różne izotopy tego samego pierwiastka reagują nieco inaczej w różnych temperaturach.

Porównanie izotopów stabilnych ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) pozwala:

- ▶ odróżnić wodę meteoryczną od magmowej
- ▶ wykryć mieszanie się z zimnymi wodami powierzchniowymi

Analiza chemiczna wód i gazów oraz termometria izotopowa

Bańska Niżna (Podhale)

- ▶ Analiza wód wskazała:
 - ▶ przewagę jonów Na^+ i Cl^- - typ chlorowosodowy
 - ▶ obecność H_2S i wysokie stężenie SiO_2 - aktywne ciepło głębinowe
- ▶ Wykrycie Na-K - temperatura źródła ok. 120-130°C
- ▶ Potwierdzono istnienie głębokiego zbiornika geotermalnego

Landau in der Pfalz (Niemcy)

Skład chemiczny wód:

- ▶ Typ: chlorowosodowy (Na-Cl)
- ▶ Krzemionka (SiO_2): ~240 mg/L
- ▶ Wysokie stężenia boru (B) i litu (Li) - wskaźnik głębokiego krążenia wód
- ▶ pH: lekko zasadowe (ok. 7,8-8,2)
- ▶ Termometria geochemiczna:
- ▶ Wykrycie SiO_2 temperatury ok. 165-170°C

Gazy towarzyszące:

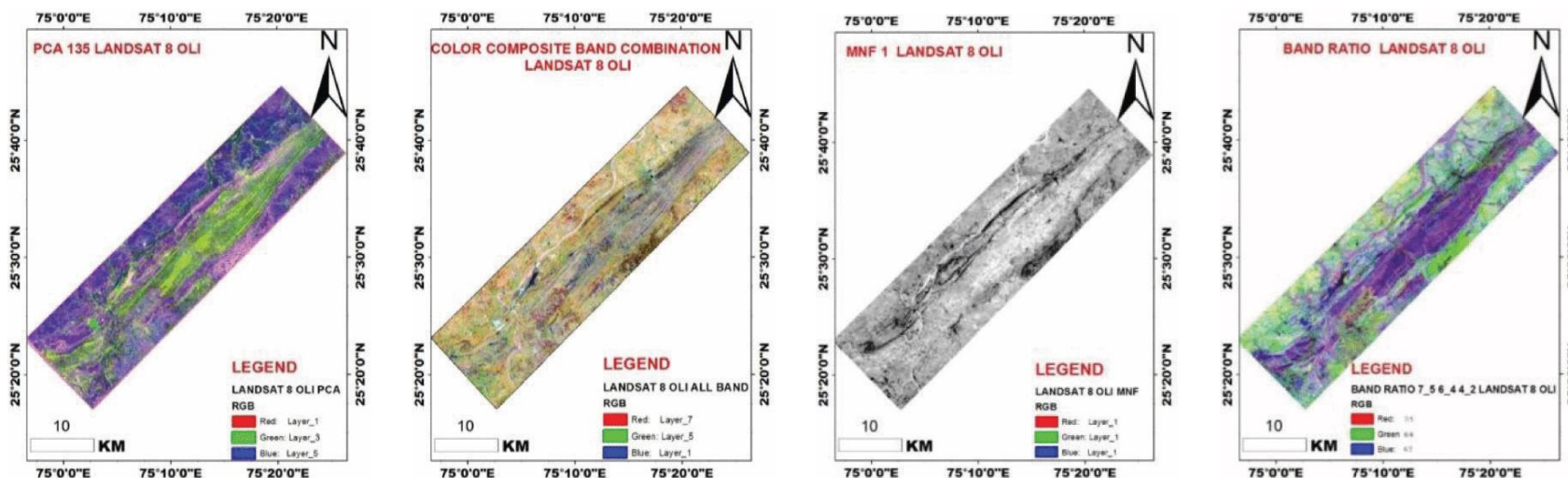
- ▶ Przewaga CO_2 , niewielkie ilości H_2S
- ▶ Skład izotopowy He i Ar sugerował mieszane pochodzenie - zarówno skorupowe, jak i magmowe domieszki

Mapy litologiczne

Mapa pokazująca rodzaje skał (litologię) występujące na danym obszarze powierzchni oraz na różnych głębokościach.

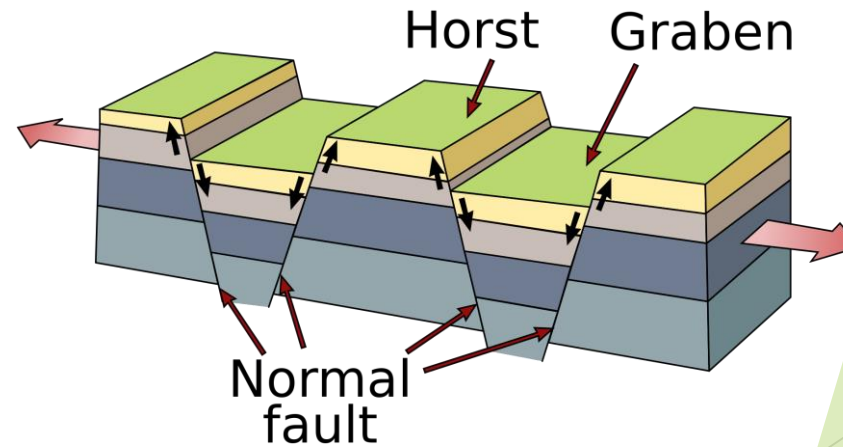
Tradycyjnie wykonuje się ją na podstawie badań terenowych (wcześniej opisane metody)

Aktualnie dodatkowo stosuje się wykorzystanie technik cyfrowego przetwarzania obrazów na danych teledetekcyjnych -np. satelita Landsat 8 OLI wyposażony w czujniki o zakresie spektralnym: widzialnym (VIS), bliskiej podczerwieni (NIR) i krótkofalowej podczerwieni (SWIR) oraz termalnej podczerwieni (TIRS)



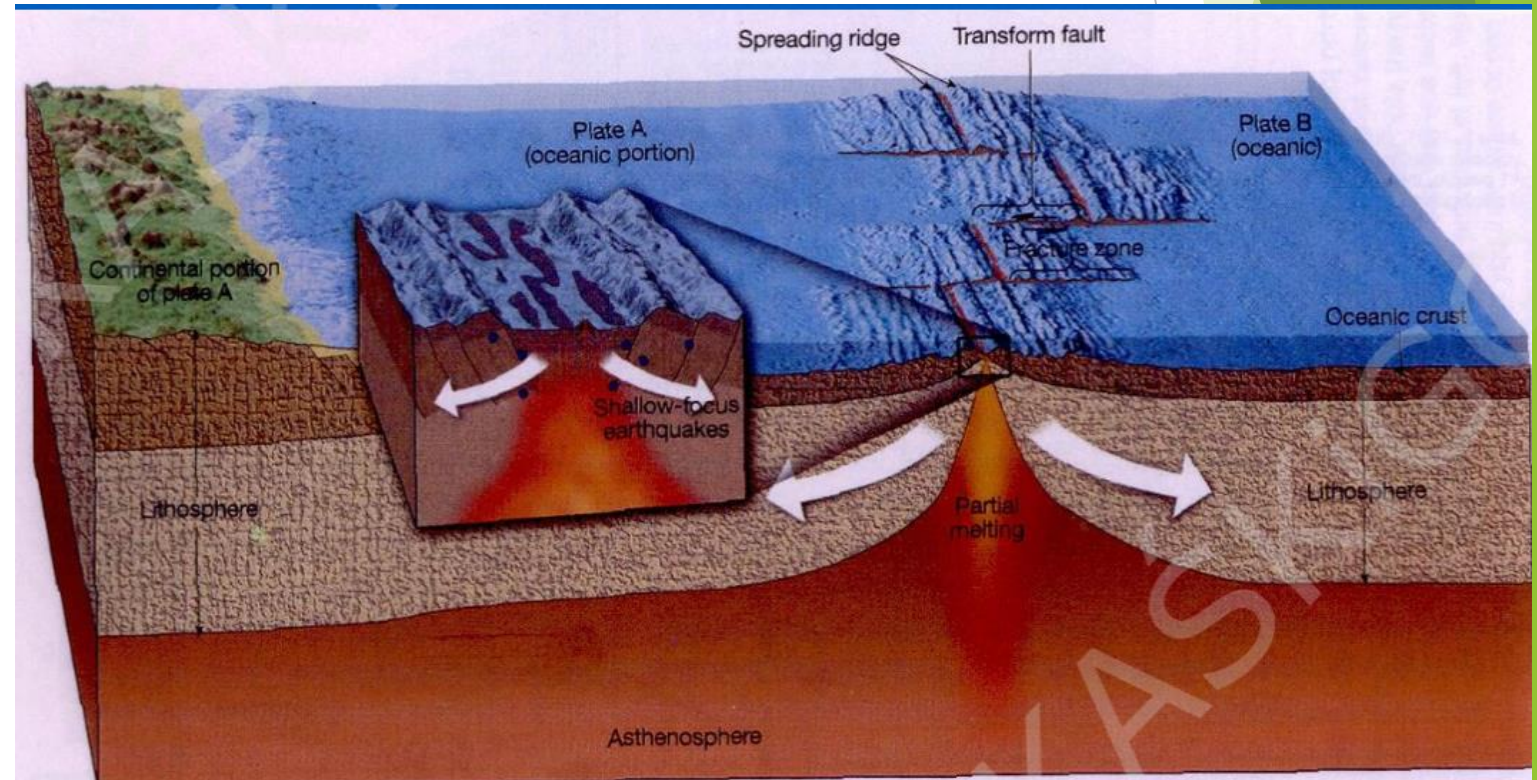
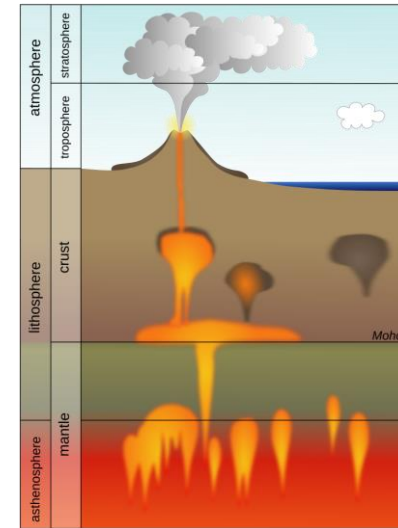
Struktury uskokowe

Deformacje skorupy ziemskiej, które powstają wskutek przemieszczenia się mas skalnych



Struktury uskokowe

Deformacje skorupy ziemskiej, które powstają wskutek przemieszczenia się mas skalnych



Warunki tektoniczne

Analiza map geologicznych i tektonicznych

- ▶ Poszukuje się uskoków, stref dyslokacyjnych, antyklin, synklin
- ▶ Sprawdza się orientację struktur (np. kierunki przebiegu uskoków)
- ▶ Interesują nas strefy:
 - Silnie spękanne (ułatwiają przepływ wód)
 - W pobliżu granic płyt tektonicznych (np. Islandia, Indonezja)
 - Zrębowe górotwory, rowy tektoniczne - sprzyjają złożom

Analiza danych z odwiertów i rdzeni

- ▶ Ocena orientacji spękań w rdzeniu (analiza strukturalna)
- ▶ Obserwacje deformacji, uskoków, stylolitek, stref kruszenia itp.
- ▶ Często stosuje się specjalistyczne kamery otworowe (borehole imaging)

Warunki tektoniczne

Profilowanie geofizyczne

- ▶ Sejsmika refleksyjna i refrakcyjna - pozwala zobaczyć struktury tektoniczne pod powierzchnią
- ▶ Magnetotelluryka (MT) - wykrywa zmiany przewodności związane ze strefami uskokuowymi
- ▶ Grawimetria - anomalia gęstości może wskazywać na uskoki i zręby

Analiza naprężeń i kierunków przepływu wód:

- ▶ Pomiar kierunku głównego naprężenia (σ_1) pozwala określić, które szczeliny mogą być aktywne i przewodne
- ▶ Pomaga też zrozumieć, gdzie woda termalna może się akumulować lub przemieszczać
- ▶ W niektórych przypadkach używa się: danych z tensometrów lub inklinometrów

Opłacalność Źródła

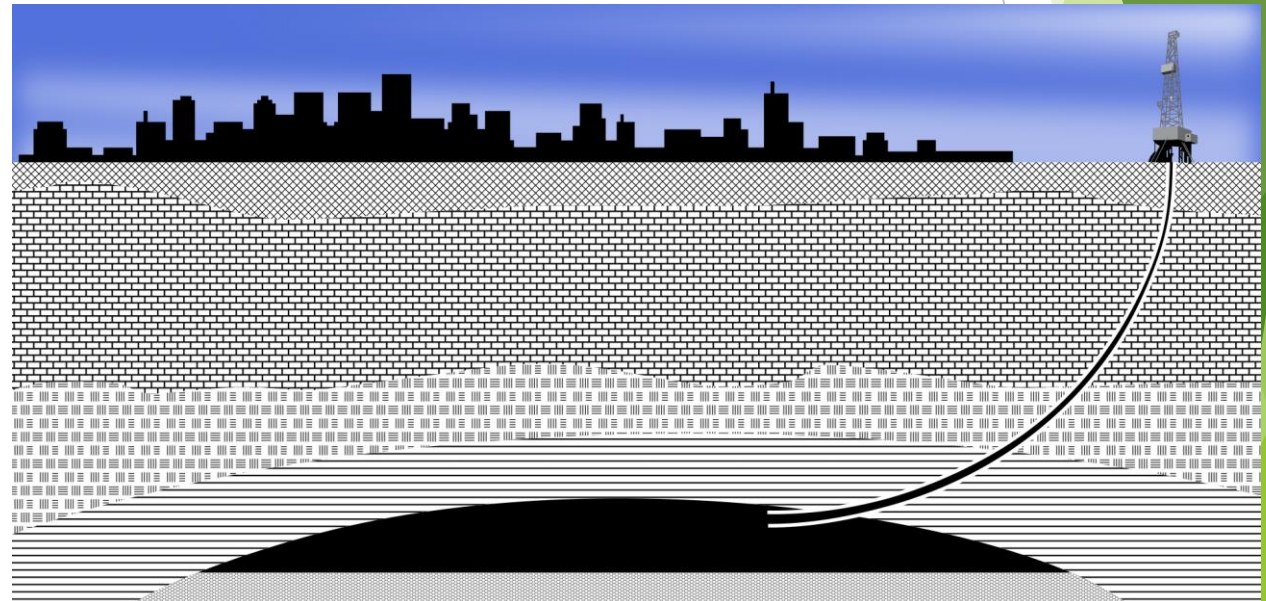
- ▶ Temperatura wód geotermalnych - wysokość temperatury wód geotermalnych wynika wprost z temperatury złożowej przy uwzględnieniu obniżenia jej wartości o wielkość spadku temperatury wody w trakcie jej wydobywania na powierzchnię terenu.
- ▶ Mineralizacja - zawartość rozpuszczonych składników stałych. Wpływa negatywnie na urządzenia instalacji geotermalnych poprzez zwiększenie szybkości zachodzenia procesu korozji oraz powodowanie zjawiska pokrywania się rur eksploatacyjnych warstwą wytrąconych minerałów.
- ▶ Im wyższa temperatura oraz wydajność, a mniejsza mineralizacja, tym lepsze warunki geotermalne.

Opłacalność Źródła

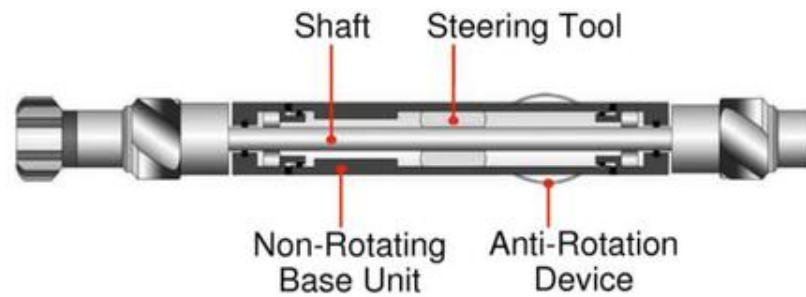
- ▶ Całkowity koszt budowy instalacji geotermalnej kształtują przede wszystkim **koszty wykonania otworów wiertniczych** przy mniejszym udziale kosztów wykonania elementów instalacji na powierzchni terenu, co powoduje tendencję czerpania energii geotermalnej ze stosunkowo mniejszych głębokości przy zachowaniu optymalnych parametrów złożowych.

Techniki wiercenia (pozyskiwanie)

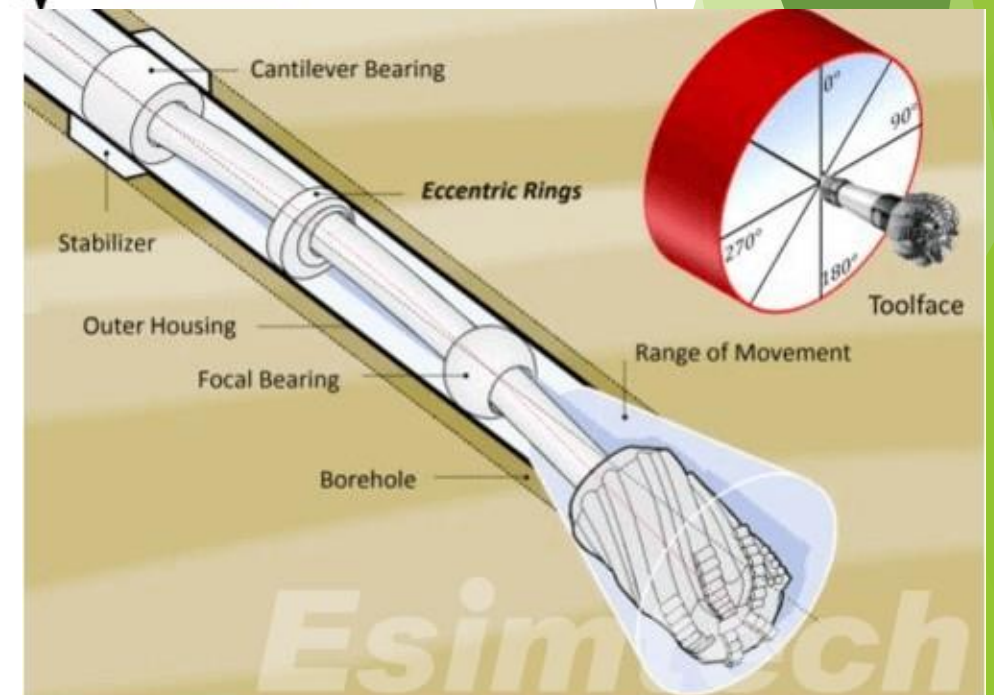
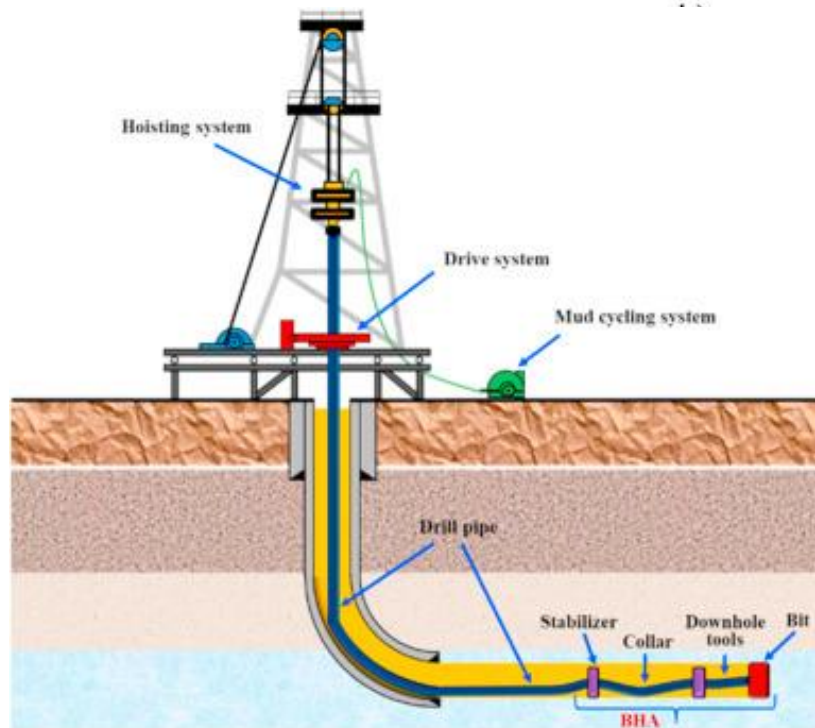
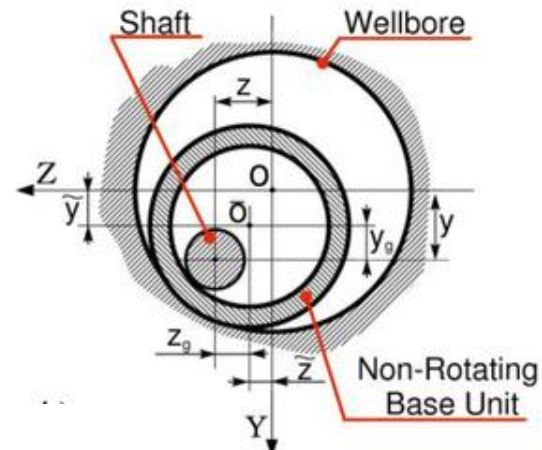
- ▶ Wiercenia pionowe i kierunkowe
- ▶ Odwierty głębokie i ultra-głębokie



Techniki wiercenia (pozyskiwanie)

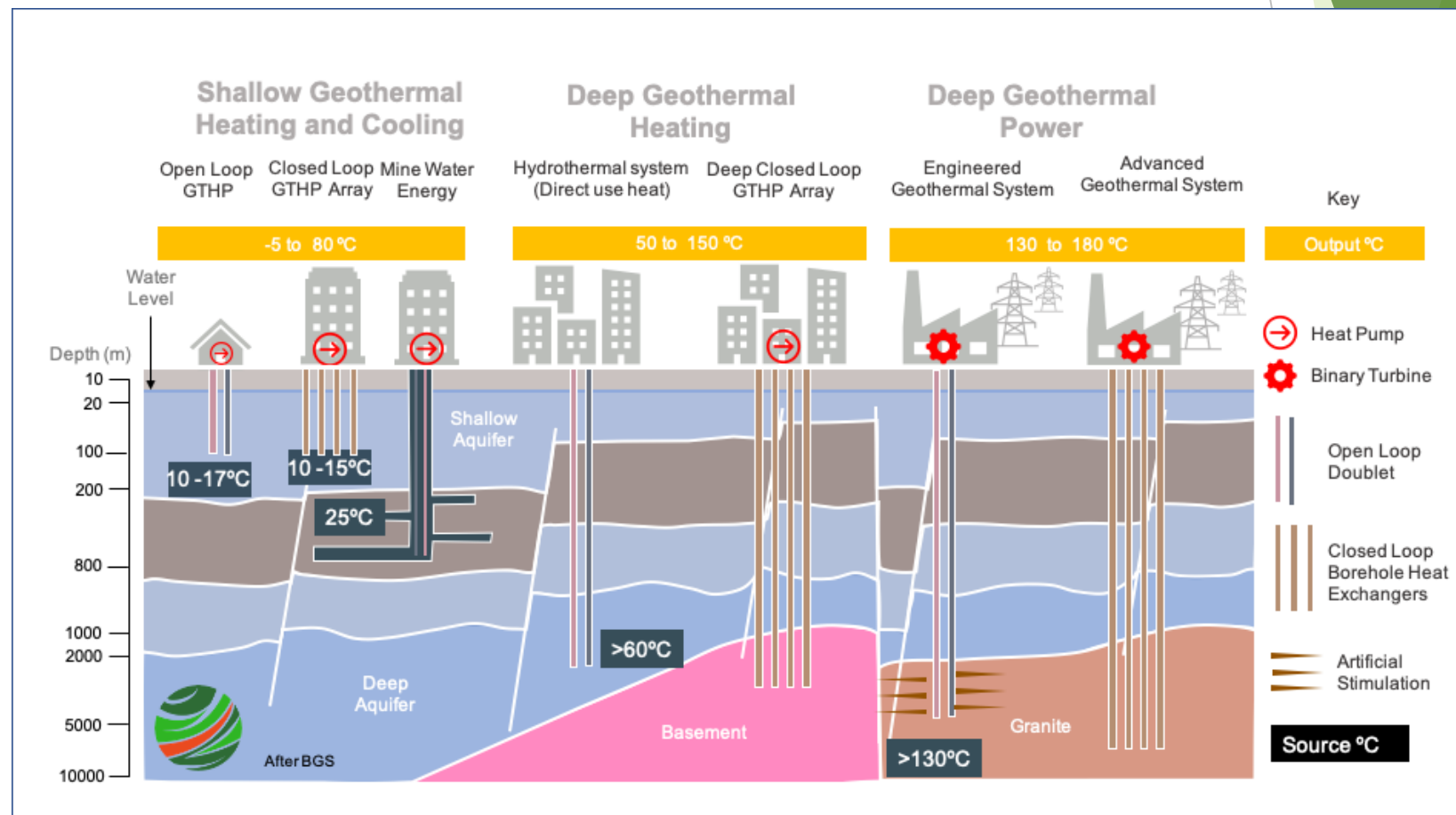


a)



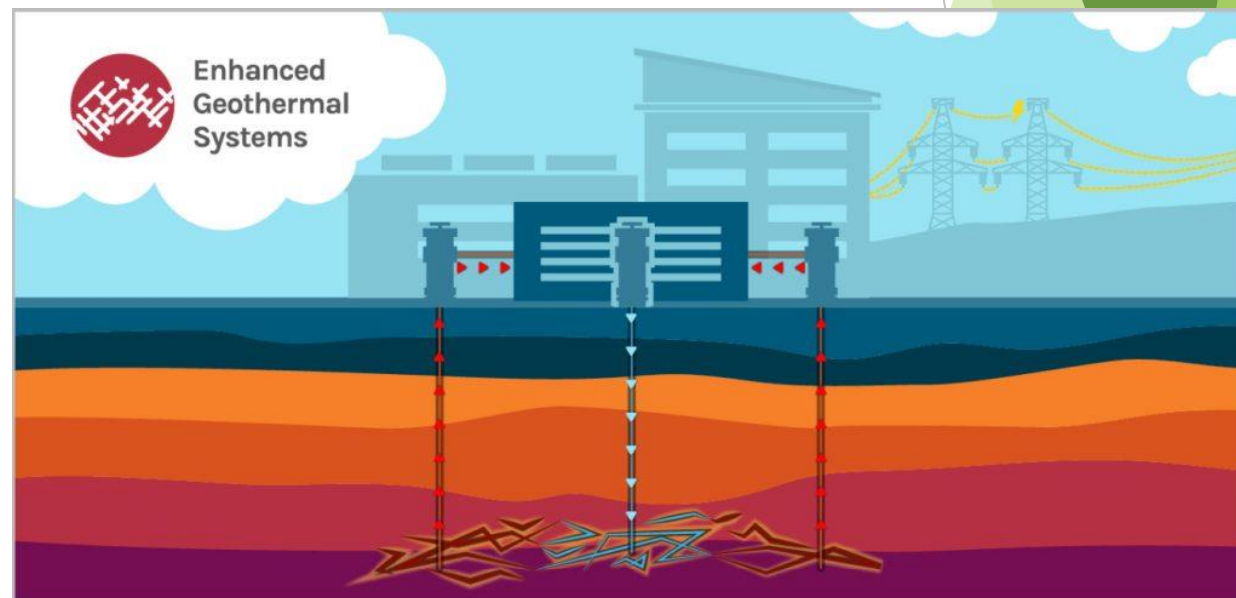
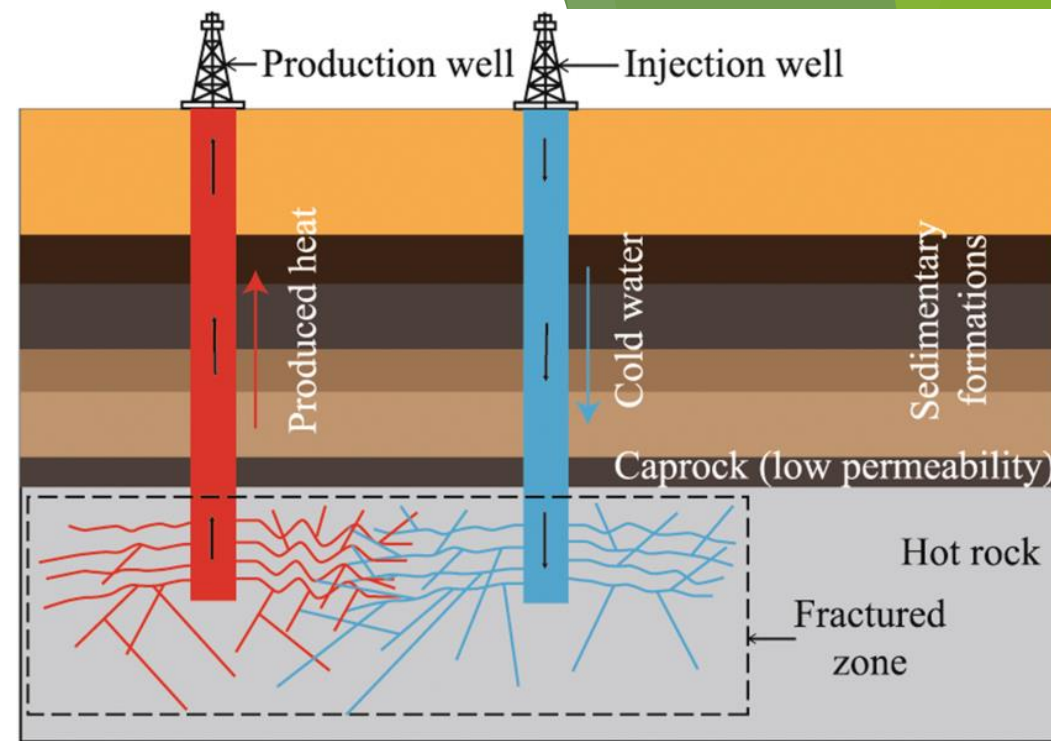
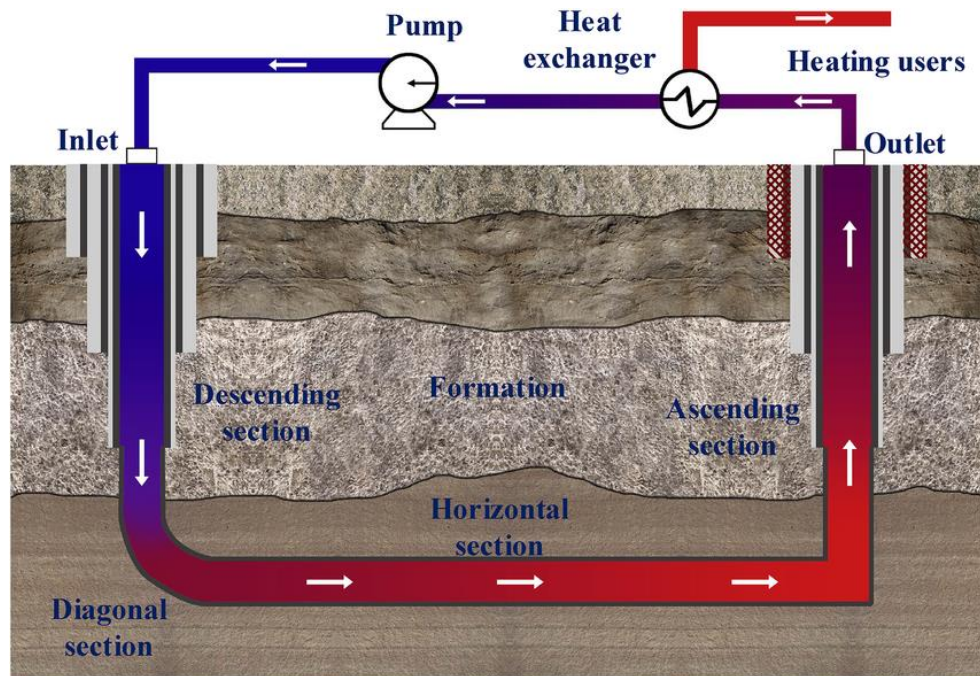
Systemy hydrotermalne (konwencjonalne)

- ▶ Jednootworowe
- ▶ Dwuotworowe
- ▶ Wielootworowe
- ▶ Systemy binarne
(ORC, Kalina)



Systemy niekonwencjonalne (petrotermalne)

- ▶ EGS (Enhanced Geothermal Systems)
- ▶ AGS (Advanced Geothermal Systems)
- ▶ HDR (Hot Dry Rocks)



Wyzwania technologiczne i środowiskowe

- ▶ Korozja instalacji
- ▶ Emisje gazów
- ▶ Ryzyko sejsmiczne (EGS)
- ▶ Koszty inwestycyjne