

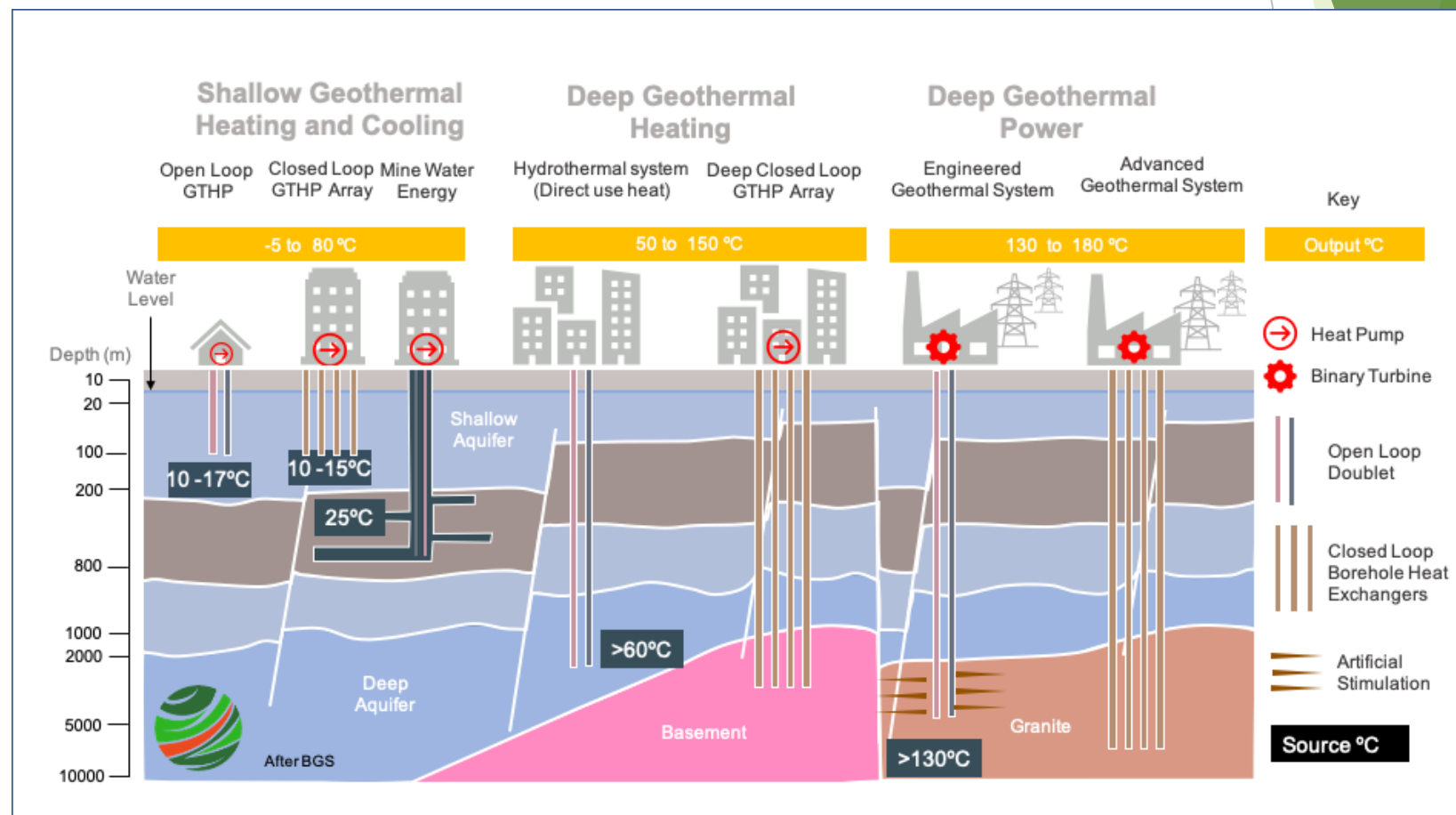
Energetyka geotermalna

Dr inż. Tomasz Hałon

Wykorzystanie energii geotermalnej.

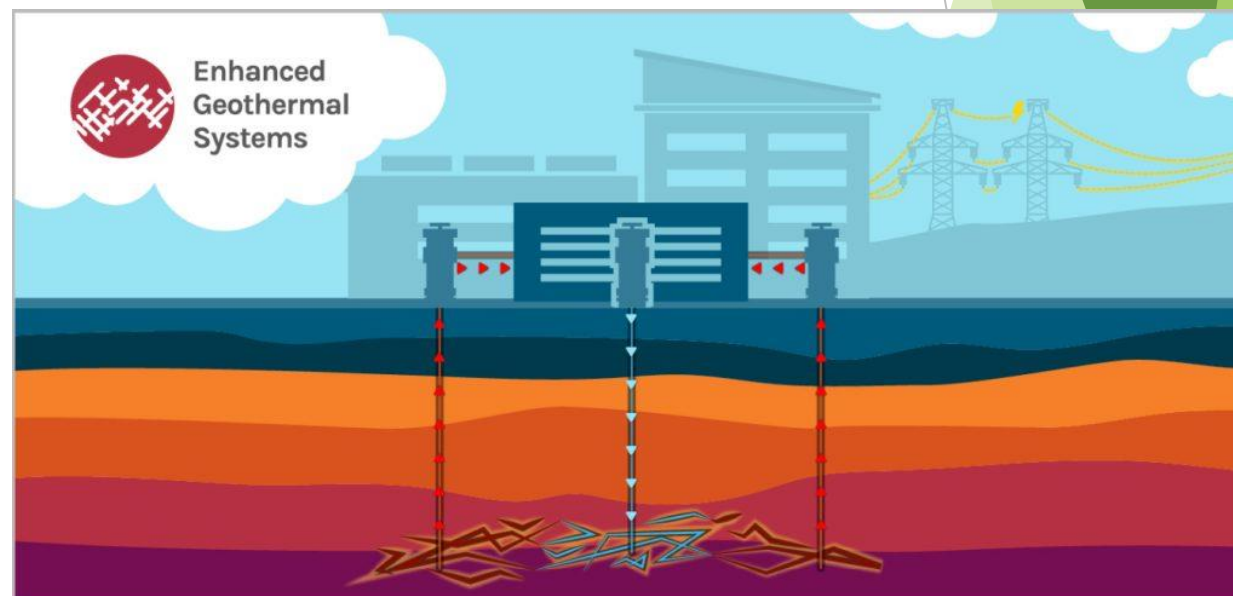
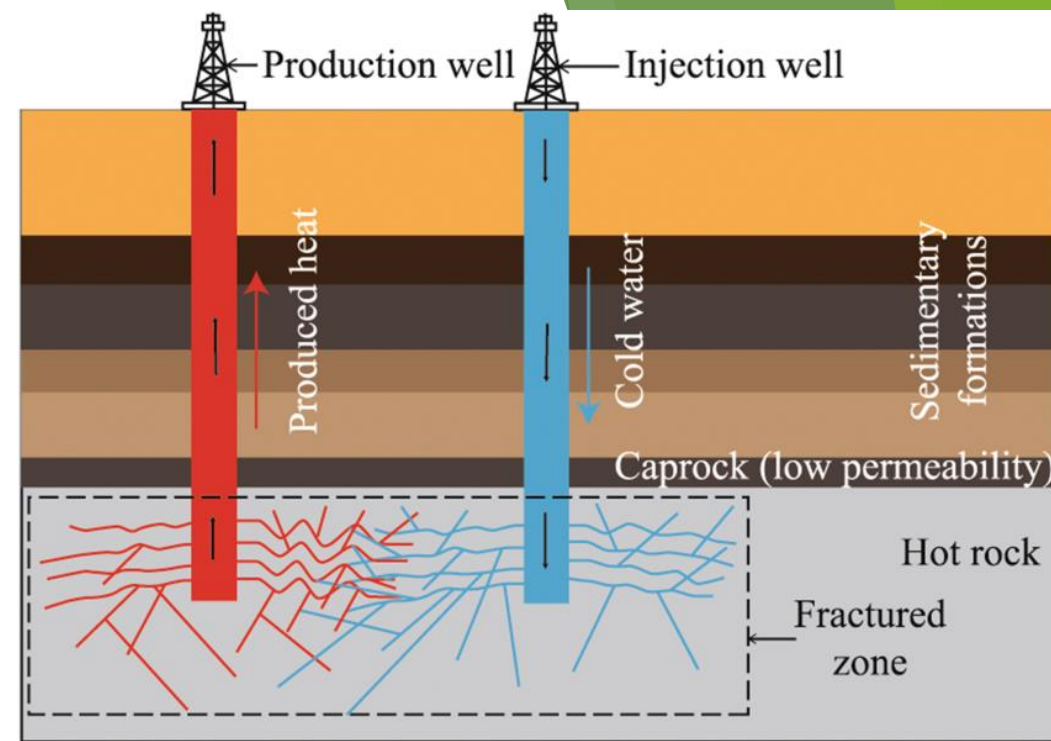
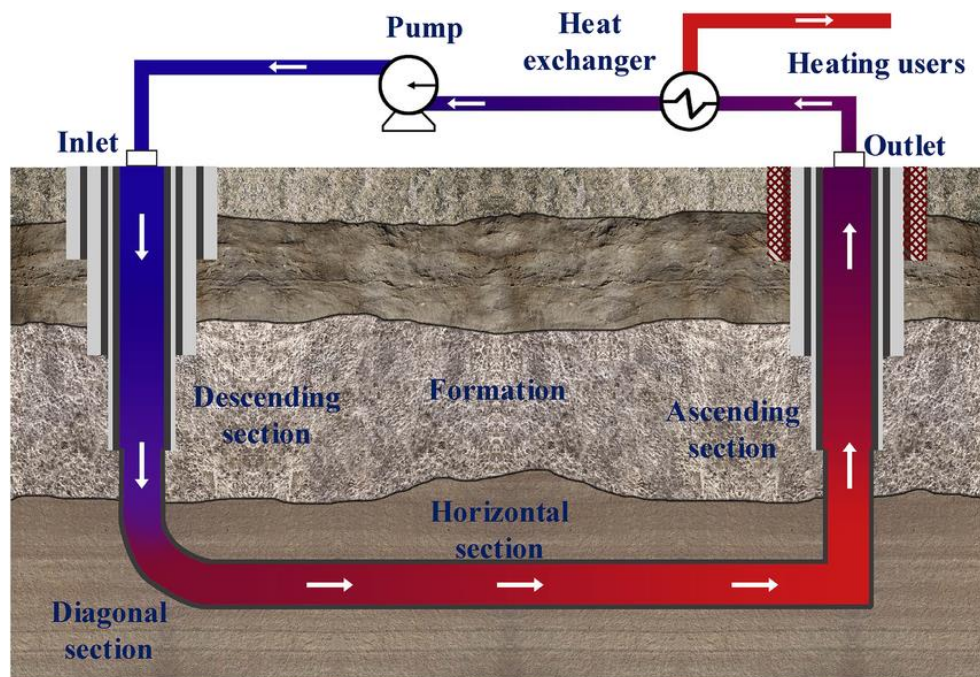
Systemy hydrotermalne (konwencjonalne)

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



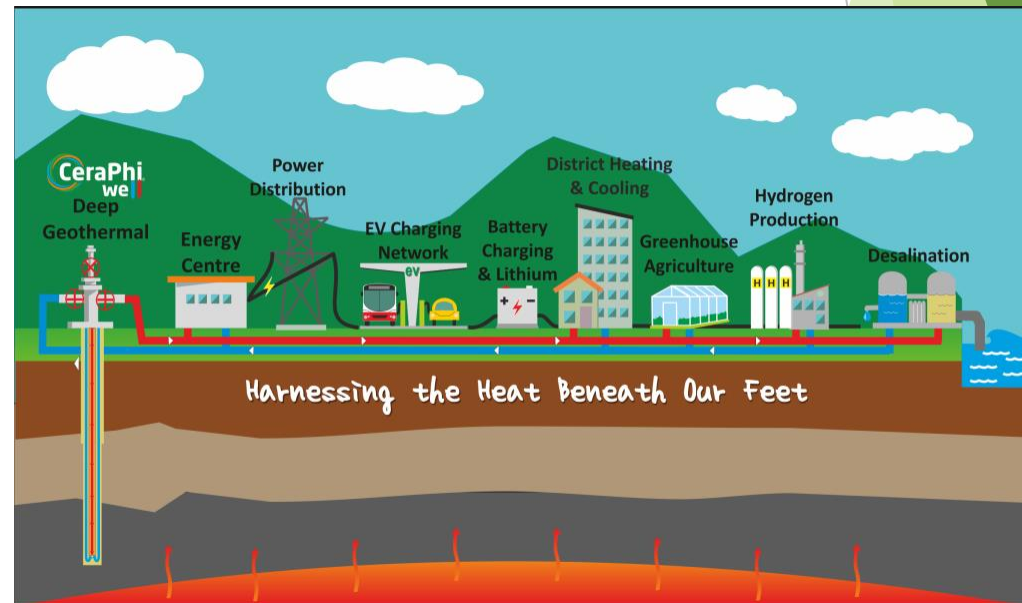
Systemy niekonwencjonalne (petrotermalne)

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



Wykorzystanie ciepła z głębokiej geotermii na cele cieplne

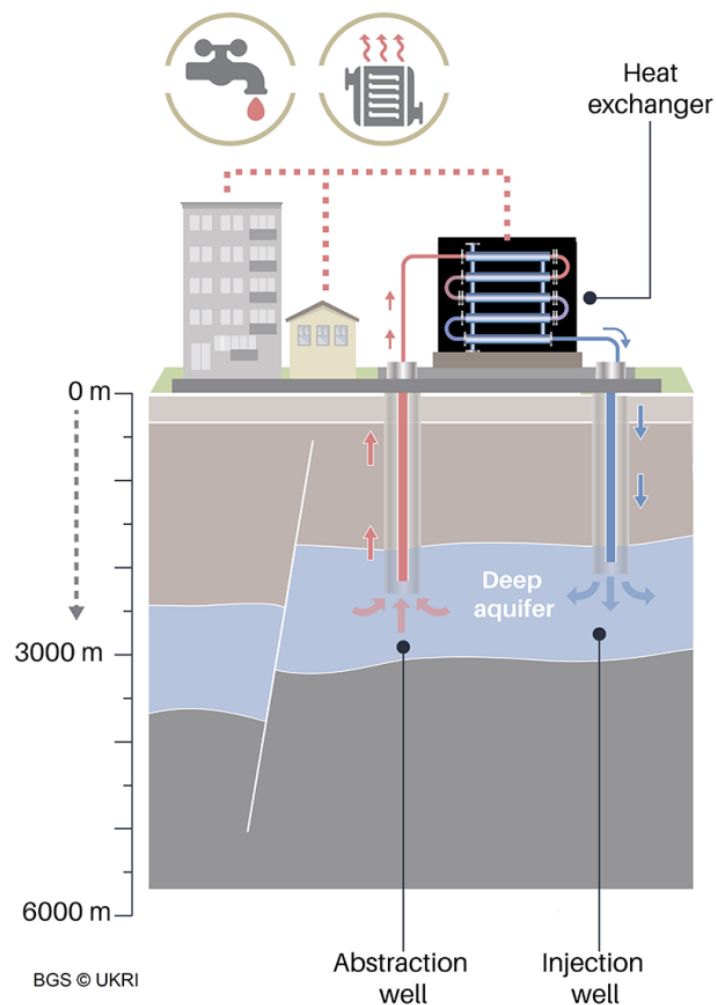
- ▶ Złoża o temperaturze $>100^{\circ}\text{C}$ i głębokościach kilku kilometrów.
- ▶ Nie jest konieczna konwersja na energię elektryczną - ciepło trafia bezpośrednio do odbiorcy.
- ▶ Zastosowanie: ciepłownictwo systemowe, ciepło technologiczne w przemyśle, suszenie rolno-spożywcze, balneologia.



Wykorzystanie ciepła z głębokiej geotermii na cele cieplne

- **Obieg otwarty** - woda geotermalna z odwiertu trafia do wymiennika i dalej do sieci ciepłowniczej, po czym wraca do zatlaczającego odwiertu.

Dawniej woda zamiast zatlaczania była odprowadzana na zewnątrz (tzw. systemy bez reiniekcji).



Wykorzystanie ciepła z głębokiej geotermii na cele cieplne - obieg otwarty

Zalety

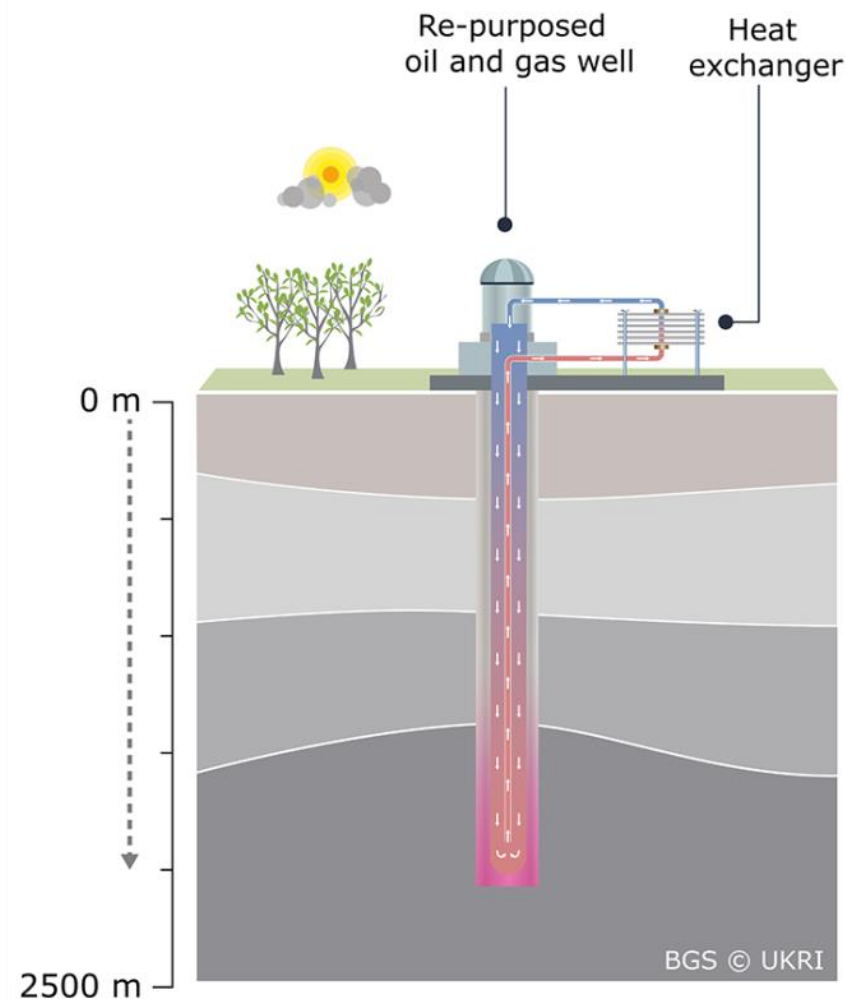
- **Wysoka efektywność wymiany ciepła:** brak pośredników, transfer bezpośrednio z medium geotermalnego.
- **Niższe koszty inwestycyjne** w niektórych przypadkach (brak dodatkowego czynnika roboczego).
- Możliwość wykorzystania **naturalnych przepływów wód podziemnych**.

Wady

- **Zanieczyszczenia chemiczne:** osady (np. krzemiany, węglany), korozja instalacji (np. z powodu siarkowodoru).
- **Ryzyko zanieczyszczenia środowiska** - w przypadku awarii może dojść do skażenia wód powierzchniowych lub gruntowych.
- **Zmienność parametrów wody geotermalnej** (ciśnienie, temperatura, mineralizacja) w czasie eksploatacji.
- Konieczność **ciągłego uzdatniania wody** i monitorowania składu chemicznego.

Wykorzystanie ciepła z głębokiej geotermii na cele cieplne

- **Obieg zamknięty (rurociągi koaksjalne, sondy głębinowe)**
- ciecz robocza (woda, solanka, glikol) ogrzewa się przez kontakt z gorącym podłożem lub wodami podziemnymi.



Wykorzystanie ciepła z głębokiej geotermii na cele cieplne - obieg zamknięty

Zalety

- **Brak kontaktu z wodą geotermalną** - mniejsze ryzyko korozji, osadów, degradacji instalacji.
- **Minimalny wpływ na środowisko** - nie występuje emisja gazów ani wód mineralnych.
- **Bardziej stabilna i przewidywalna eksploatacja** - mniejsze wahania parametrów.
- **Możliwość wykorzystania na obszarach bez aktywnych warstw wodonośnych.**

Wady

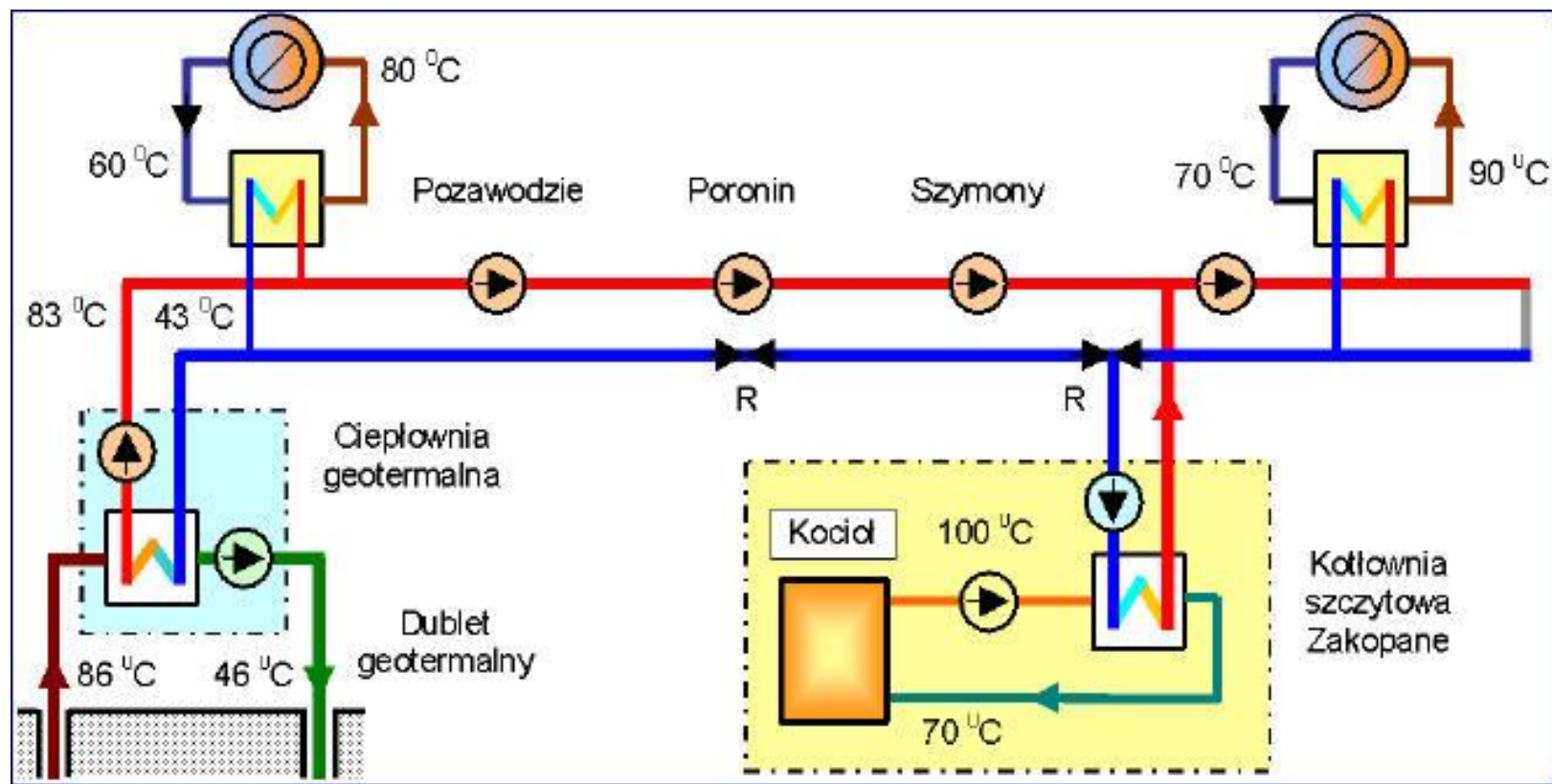
- **Niższa efektywność cieplna** - ograniczony transfer przez skały, wolniejsze przewodzenie).
- **Wyższe koszty inwestycyjne** - głębokie odwierty koaksjalne, wysokie wymagania materiałowe.
- **Konieczność stosowania większej pompy obiegowej o dużej mocy** (by przezwyciężyć opory przepływu).



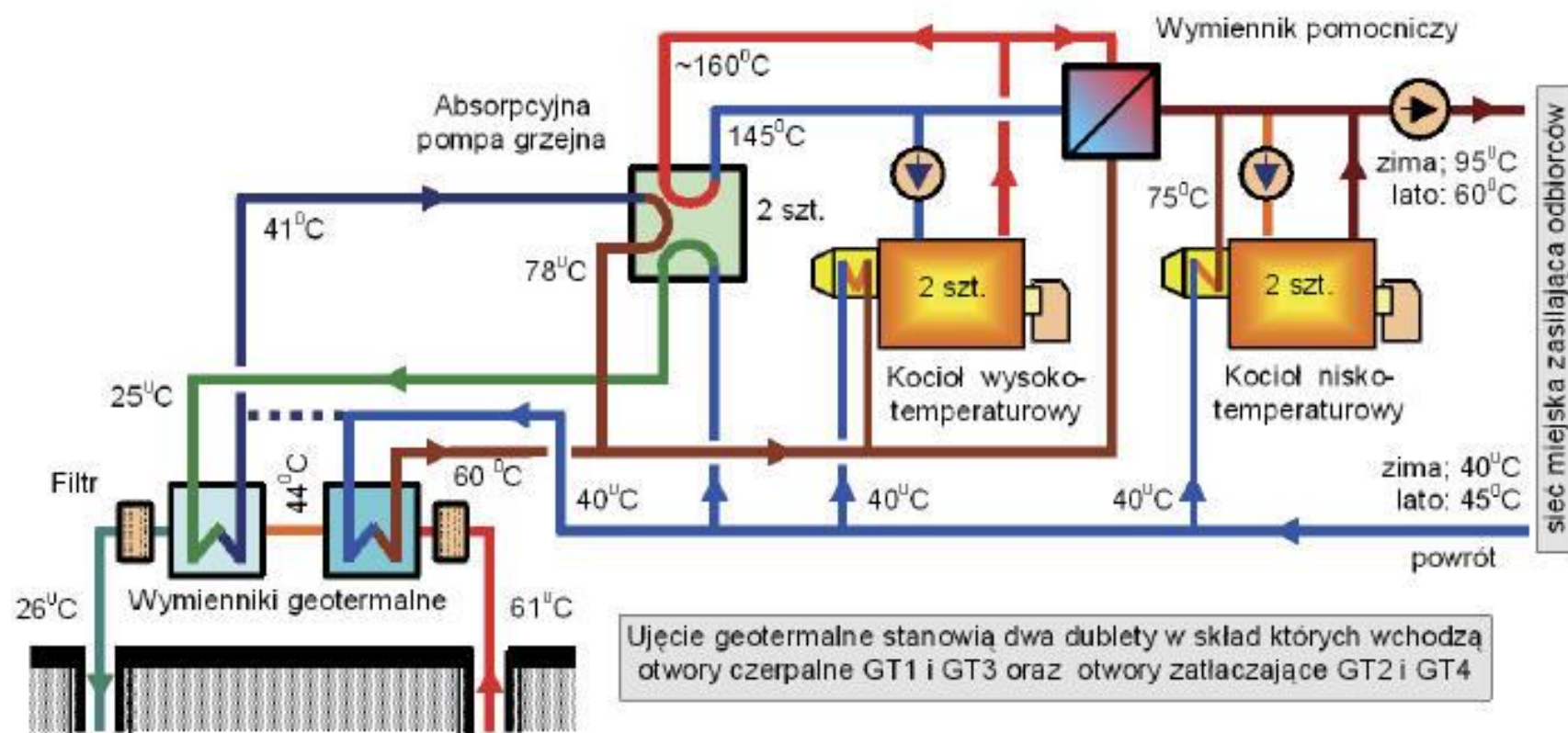
Wykorzystanie ciepła z głębokiej geotermii na cele ciepłne

- ▶ Reykjavik - 90% miasta ogrzewane za pomocą miejskiej sieci ciepłowniczej wykorzystującej wody geotermalne.
- ▶ Okolice Paryża - około 50 różnych geotermalnych sieci ciepłowniczych z odwiertami do 1,5 - 2 km głębokości. W sumie 250 000 domostw podłączonych.
- ▶ Geotermia podhalańska - sieć ciepłownicza dla Nowego Targu i Zakopanego. Wody na głębokości poniżej 2000 m w rejonie Białego Dunajca i Bańskiej osiągają temperaturę powyżej 80°C

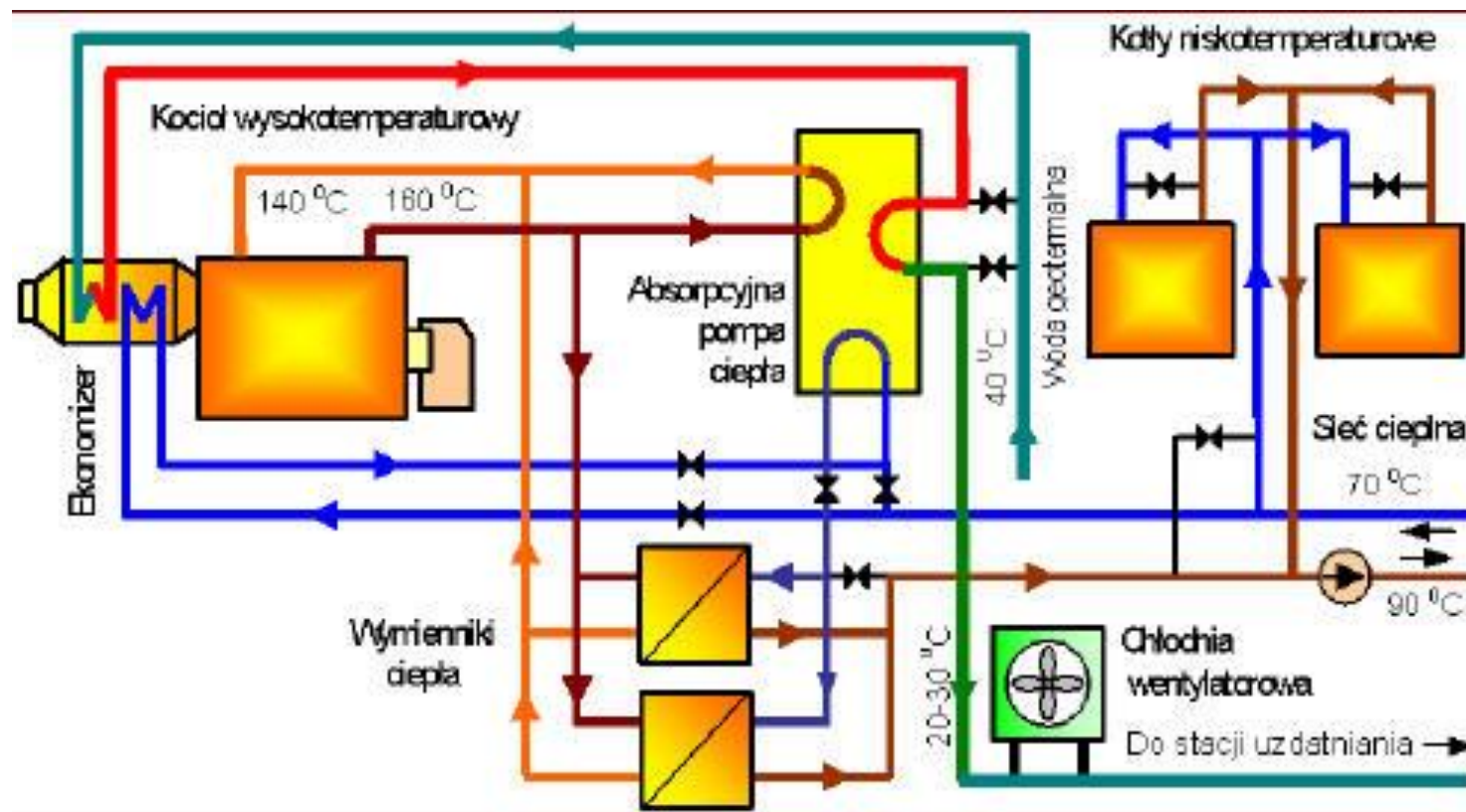
Geotermia Podhalańska



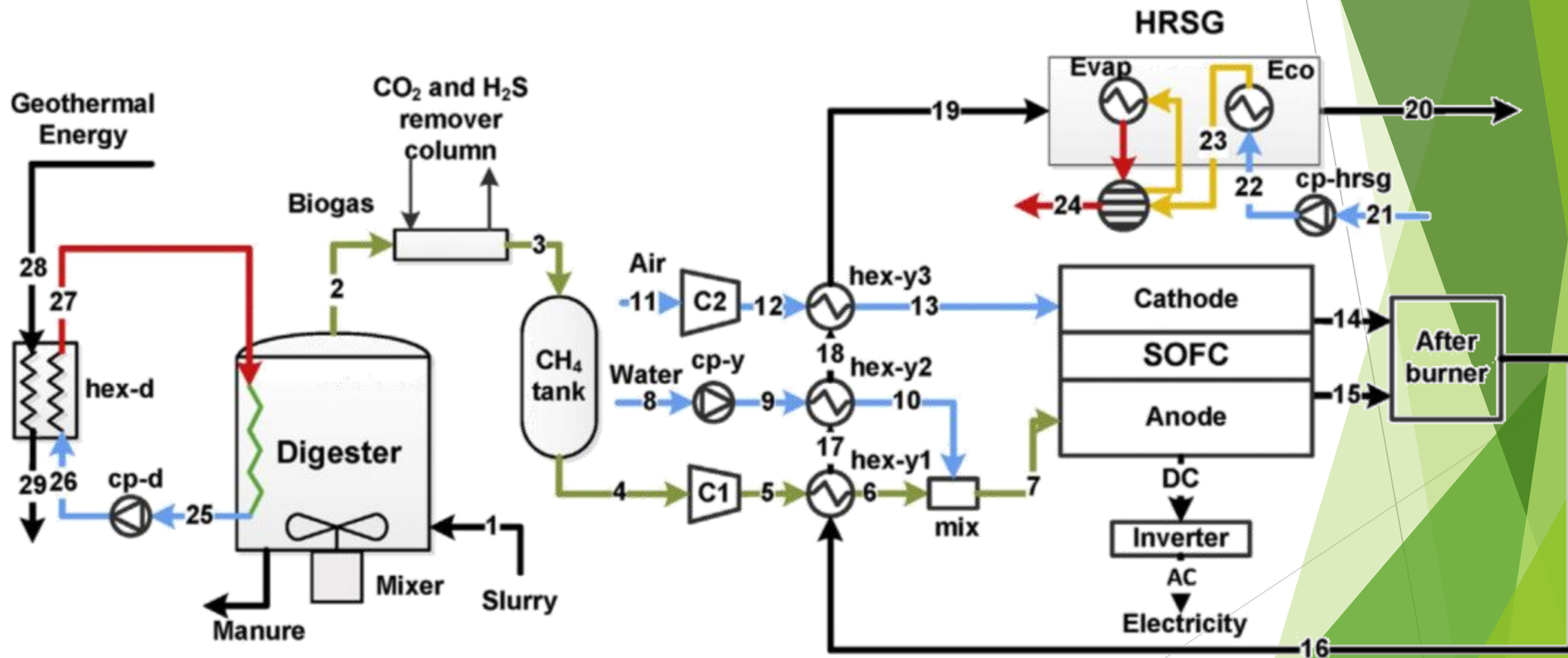
Geotermia Pyrzyce



Geotermia Mszczonów



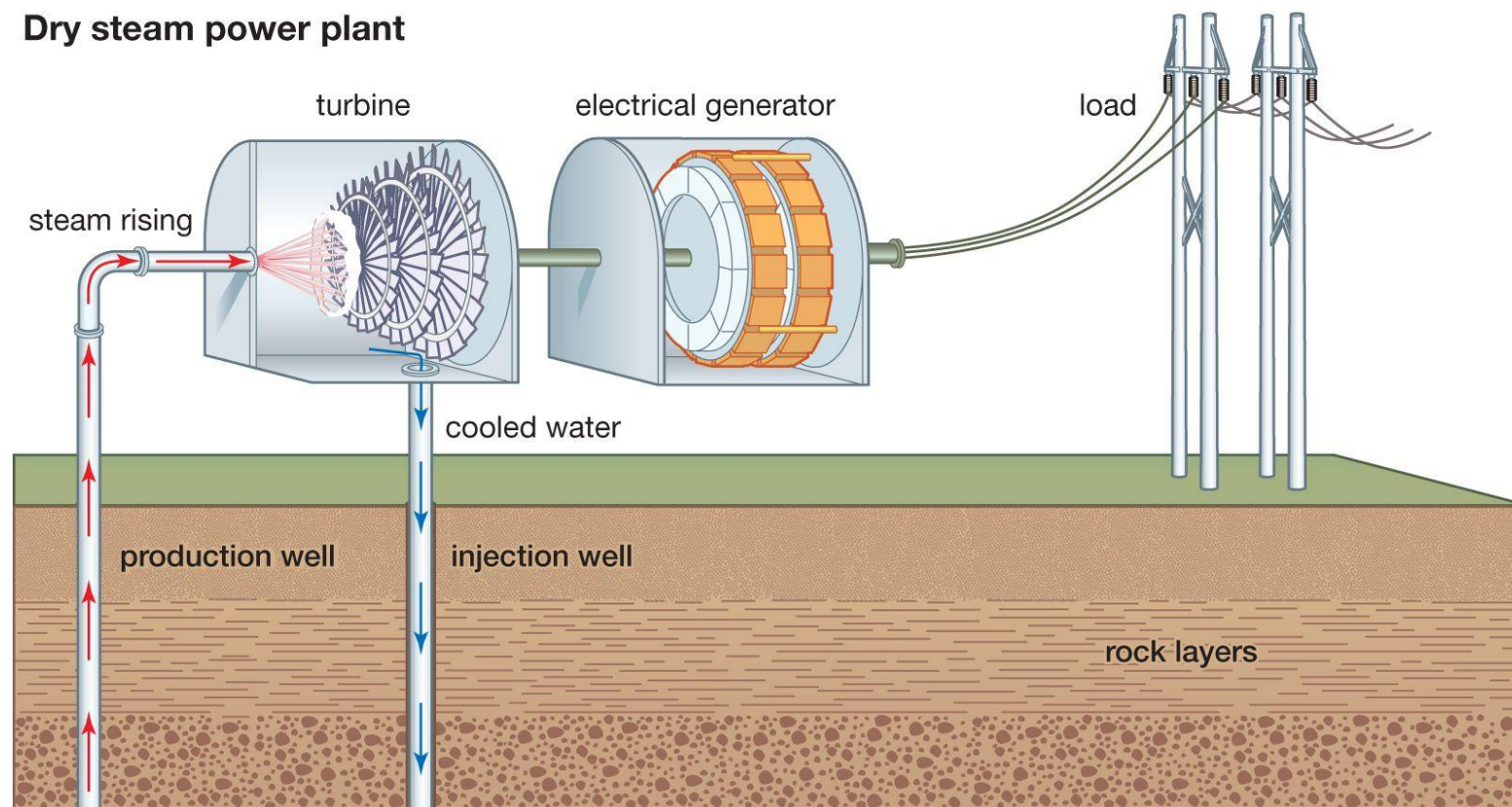
Inne opcje



Konwersja energii geotermalnej na energię elektryczną

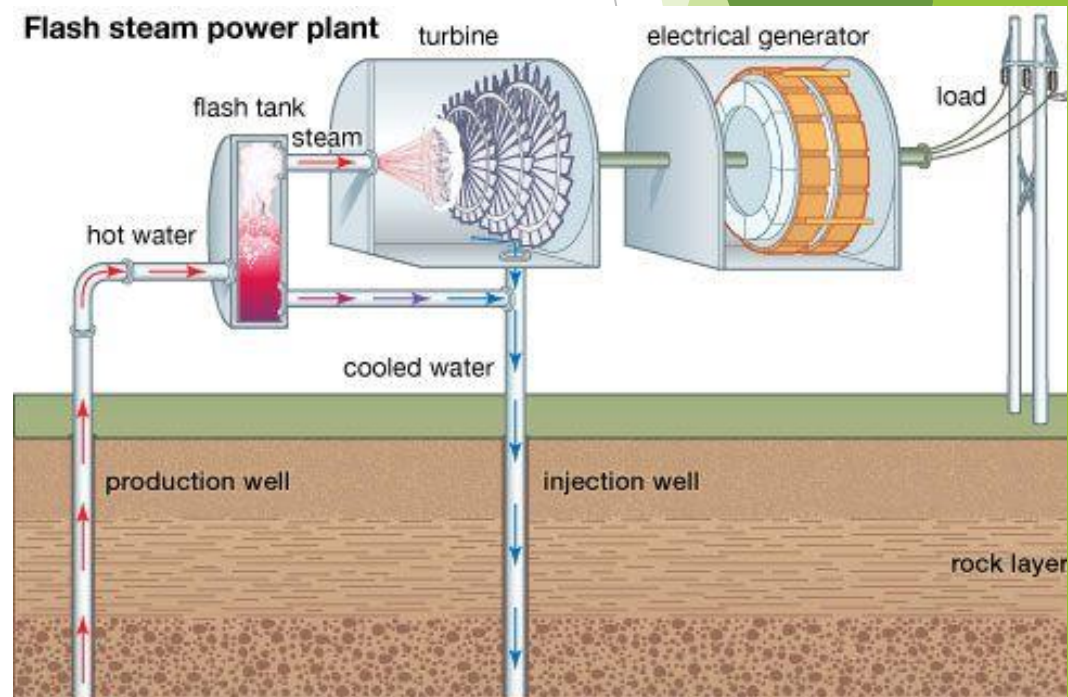
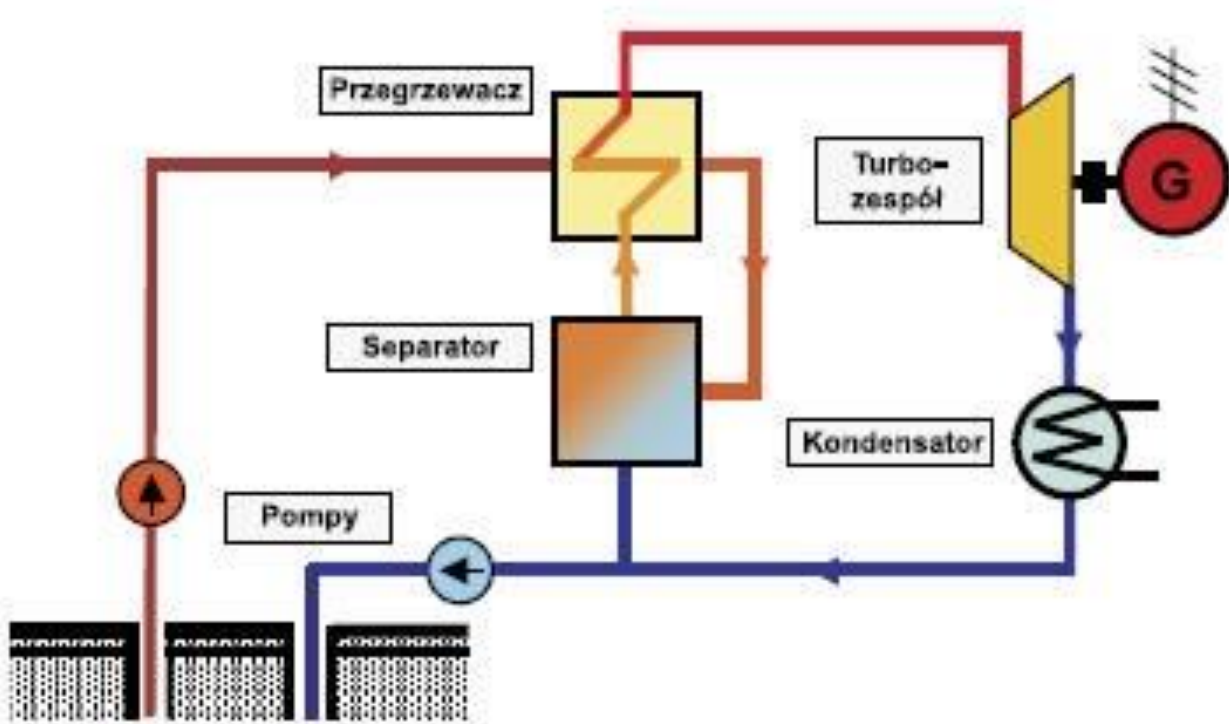
- Systemy pary suchej (Dry Steam) para bezpośrednio z ziemi.

Dry steam power plant



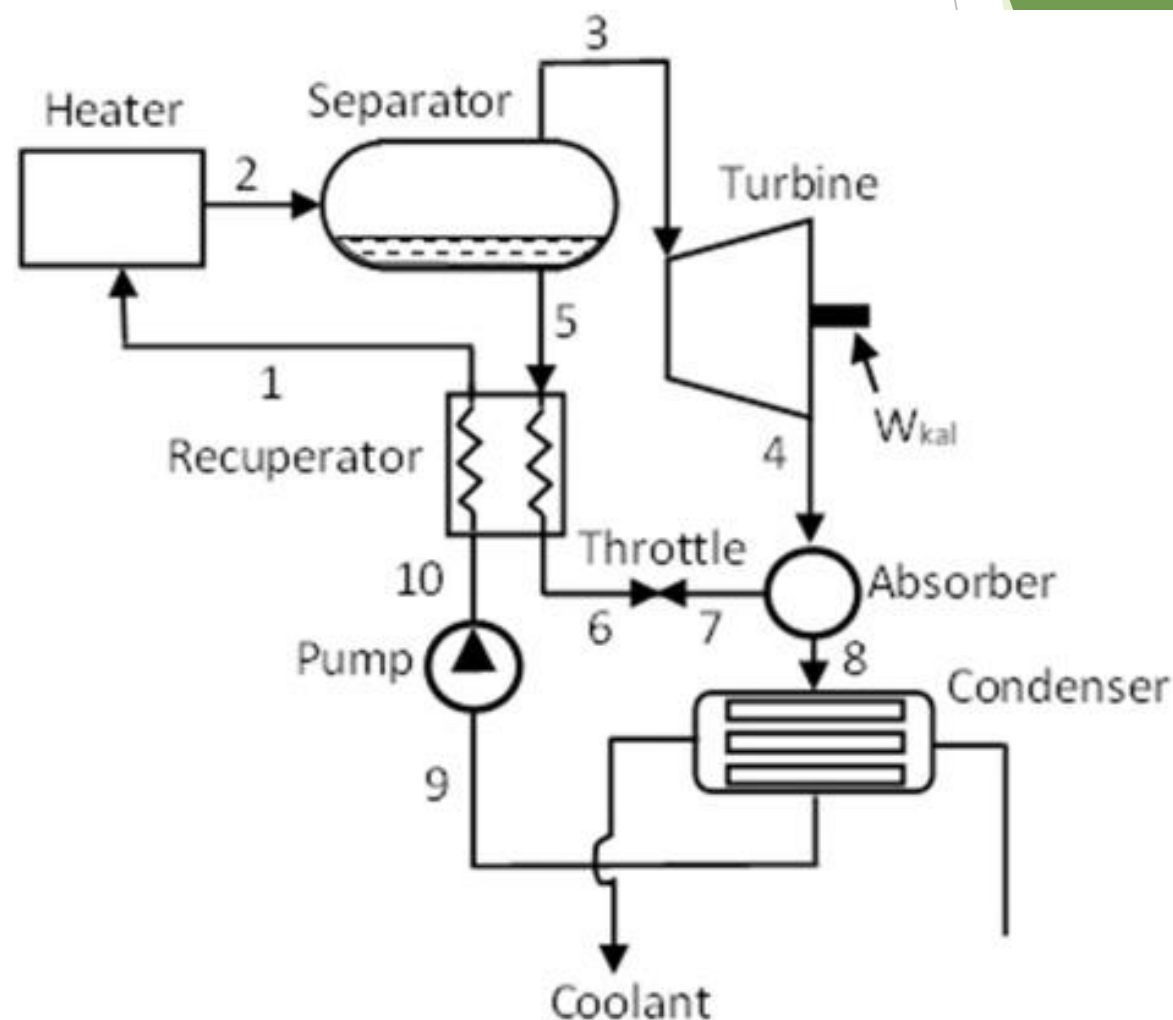
Konwersja energii geotermalnej na energię elektryczną

- Systemy z ciekłą wodą (Flash Steam) - woda o wysokiej temperaturze (min. 120°C i ciśnieniu. Przy rozprężeniu do ciśnienia atmosferycznego intensywne odparowanie wody.



Konwersja energii geotermalnej na energię elektryczną

- Systemy binarne (dwuczynnikowe):
 - Kalina - maieszanka amoniaku z wodą jest czynnikiem roboczym.
 - W separatorze dochodzi do desorpcji amoniaku z wody. Absorber też musi być chłodzony.
 - Możliwość wykorzystania temperatury poniżej 100°C.

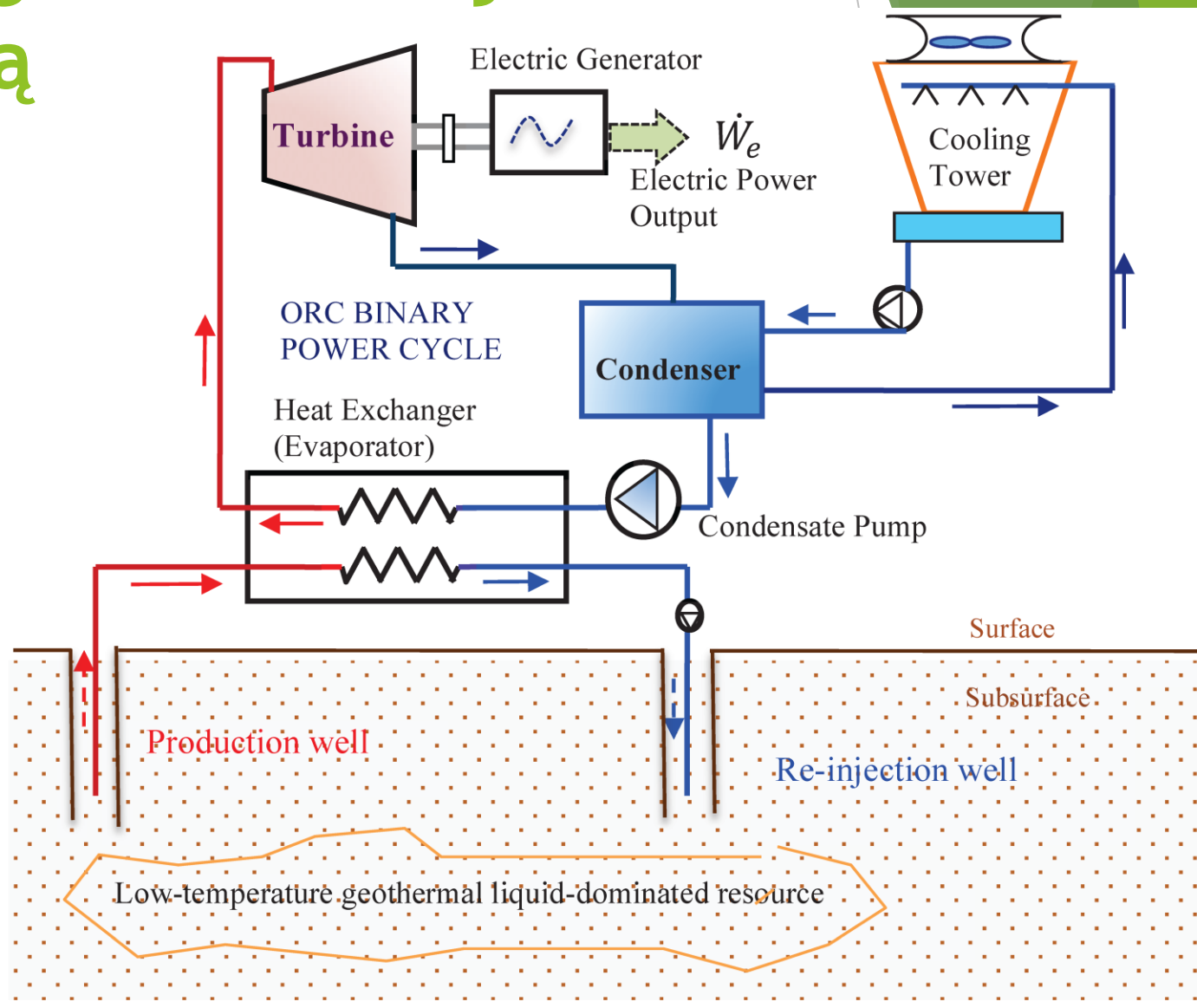


Konwersja energii geotermalnej na energię elektryczną

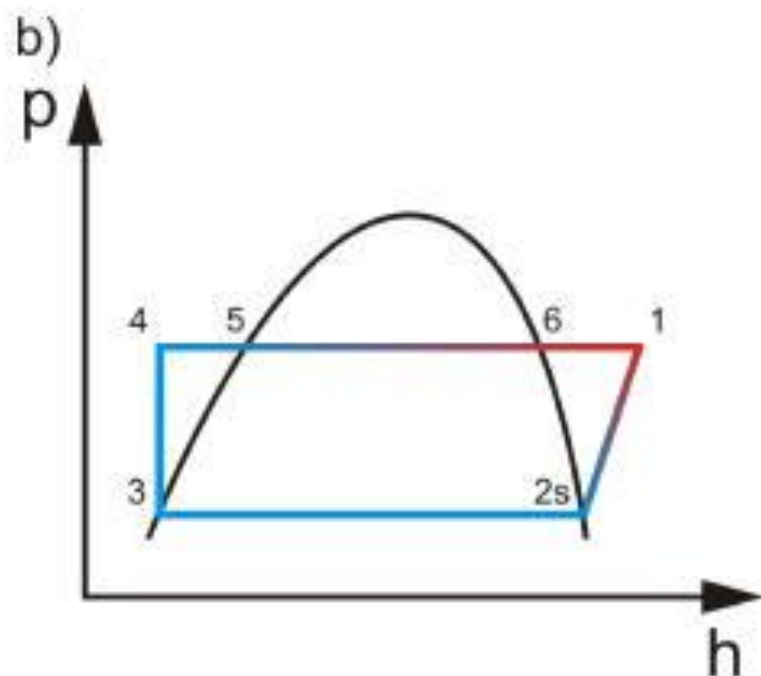
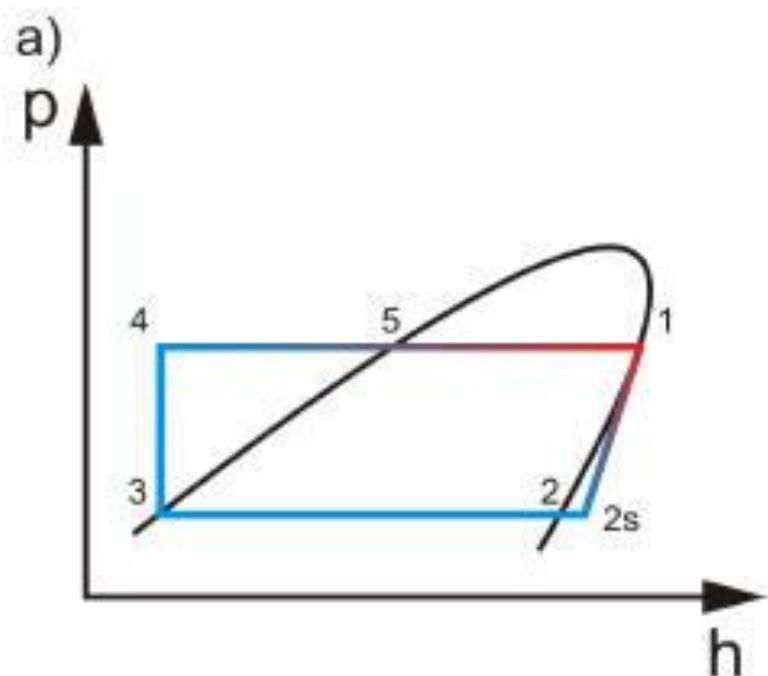
► Systemy binarne (dwuczynnikowe):

- Organic Rankine Cycle (ORC)

Gazy organiczne i niskowrzące są czynnikiem roboczym



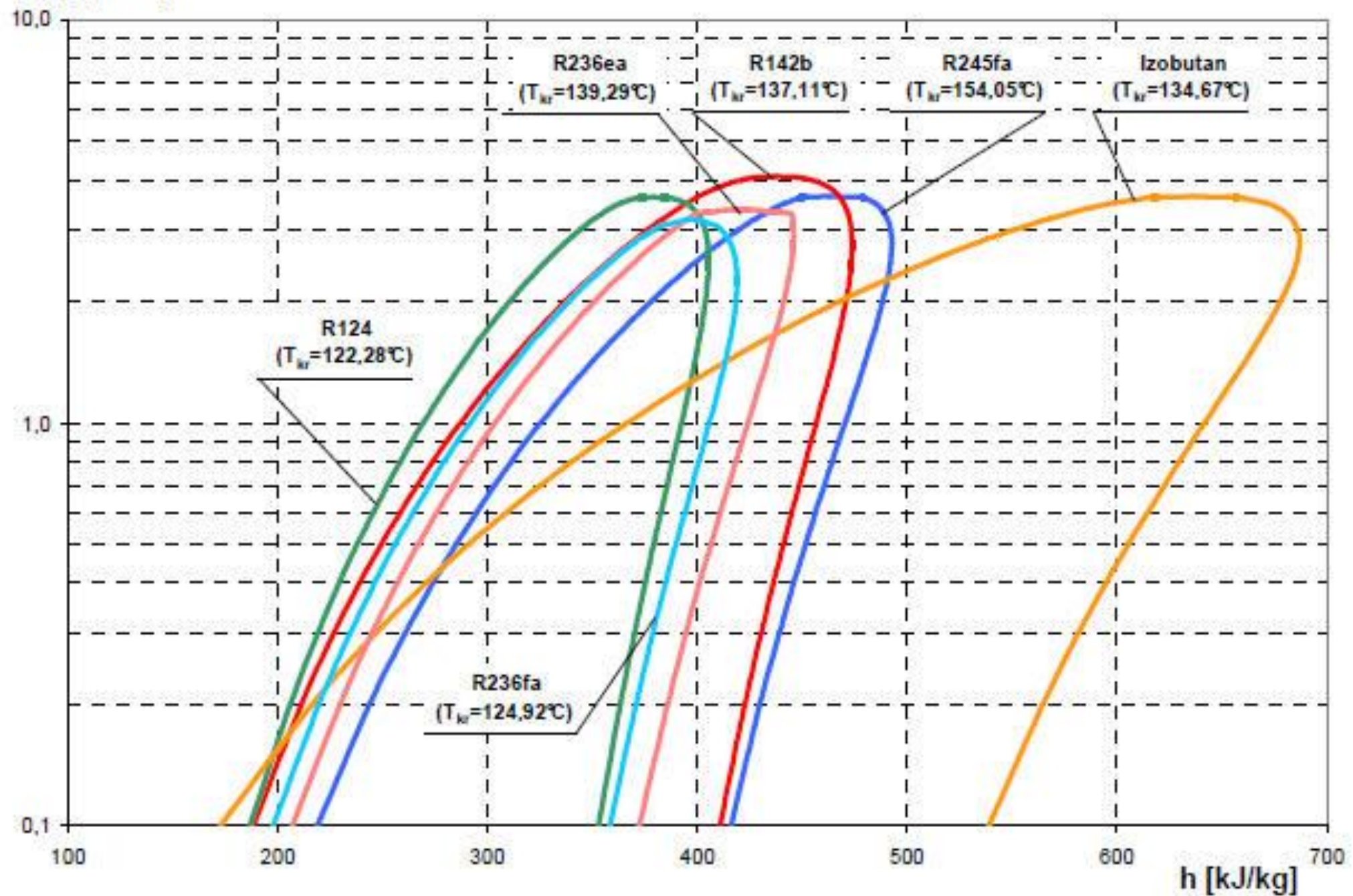
Konwersja energii geotermalnej na energię elektryczną



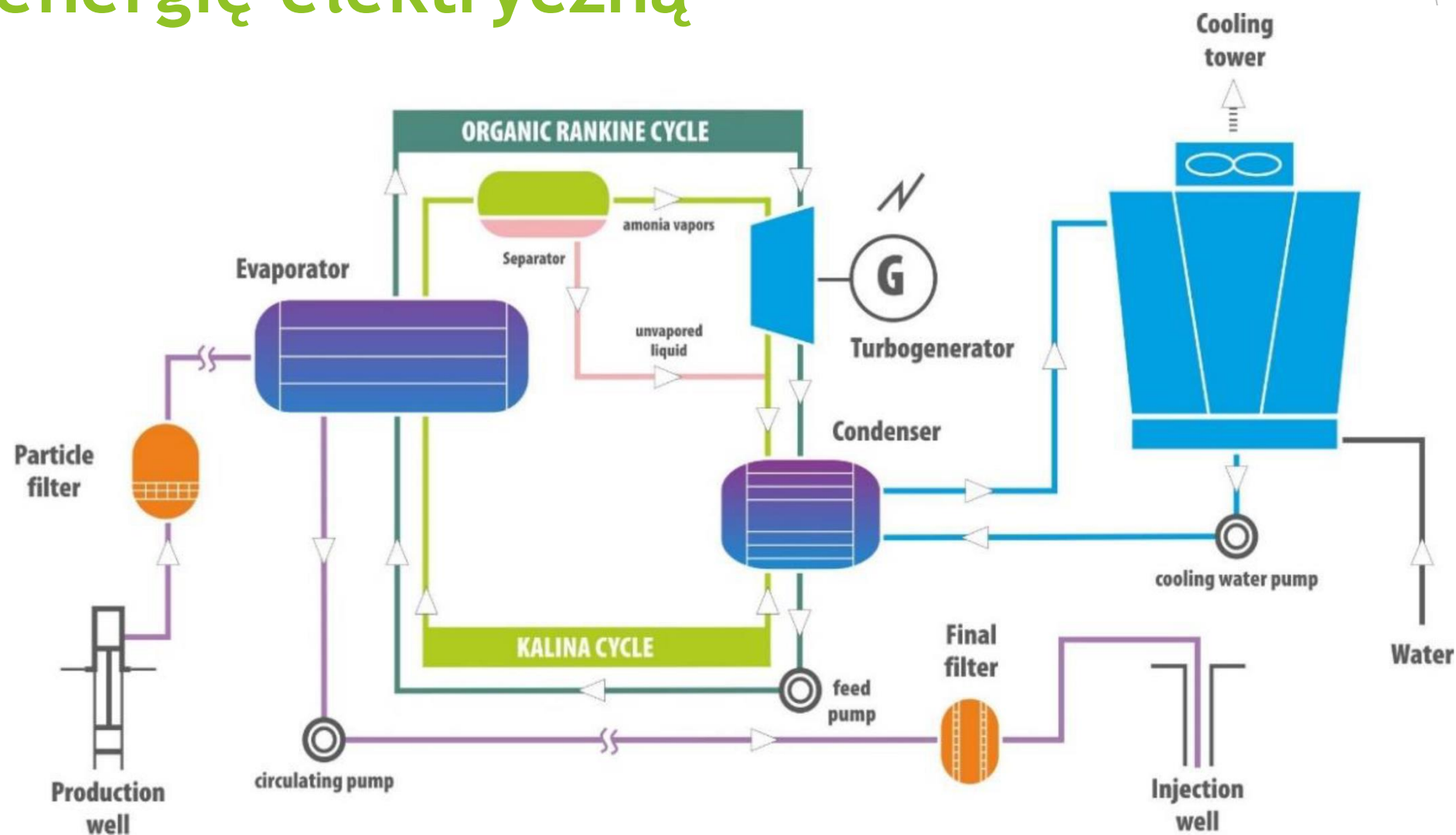
Systemy ORC to takie trochę pompy ciepła, ale w drugą stronę.

Czynnik roboczy	Typ	Zakres temp.	Uwagi
R245fa	Suchy	80-150 °C	Niska toksyczność, dobre dopasowanie do geotermii, umiarkowane GWP.
R123	Mokry	90-150 °C	Dobre właściwości termodynamiczne, ale problematyczny pod względem toksyczności i ODP.
R134a	Suchy	80-140 °C	Popularny, niski koszt, niski ODP, ale GWP wysokie.
R1234yf / R1234ze(E)	Suchy	80-140 °C	Nowoczesne czynniki HFO, niskie GWP, dobre właściwości, coraz częściej stosowane.
Butan (R600)	Izentropowy	80-120 °C	Naturalny, tani, ale palny - wymagania ATEX.
Izobutan (R600a)	Izentropowy	80-130 °C	Lepsze właściwości niż n-butane, również palny.
Pentany (n-pentan, izopentan)	Mokre	80-150 °C	Naturalne, efektywne przy niskich temperaturach, ale łatwopalne.
Toluen	Mokry	>150 °C	Dobra do wyższych temperatur, ale toksyczny i kosztowny.
Siloxany (np. MM, MDM)	Suchy	100-300 °C	Stosowane w dużych systemach, bardzo stabilne chemicznie.

log p [MPa]

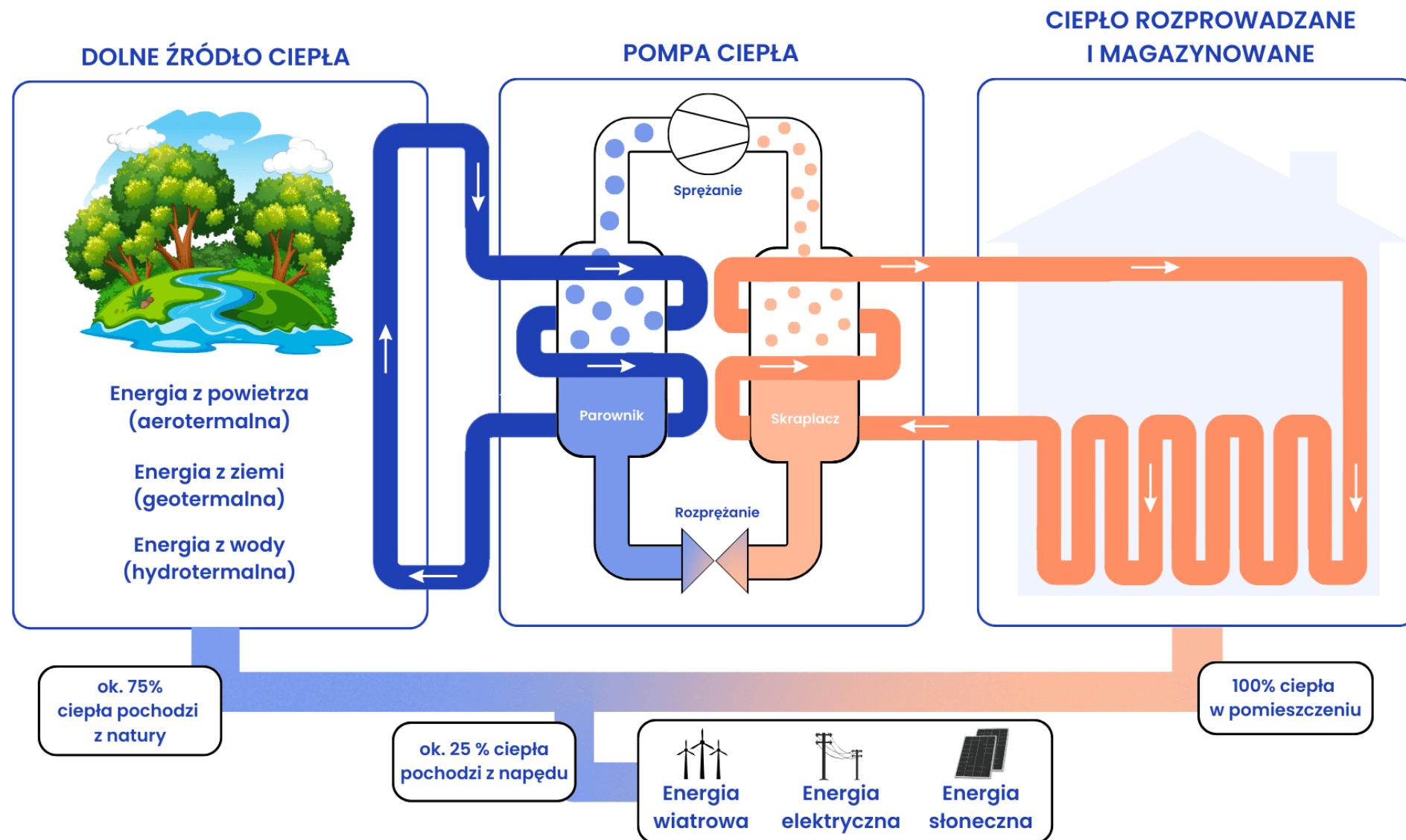


Konwersja energii geotermalnej na energię elektryczną



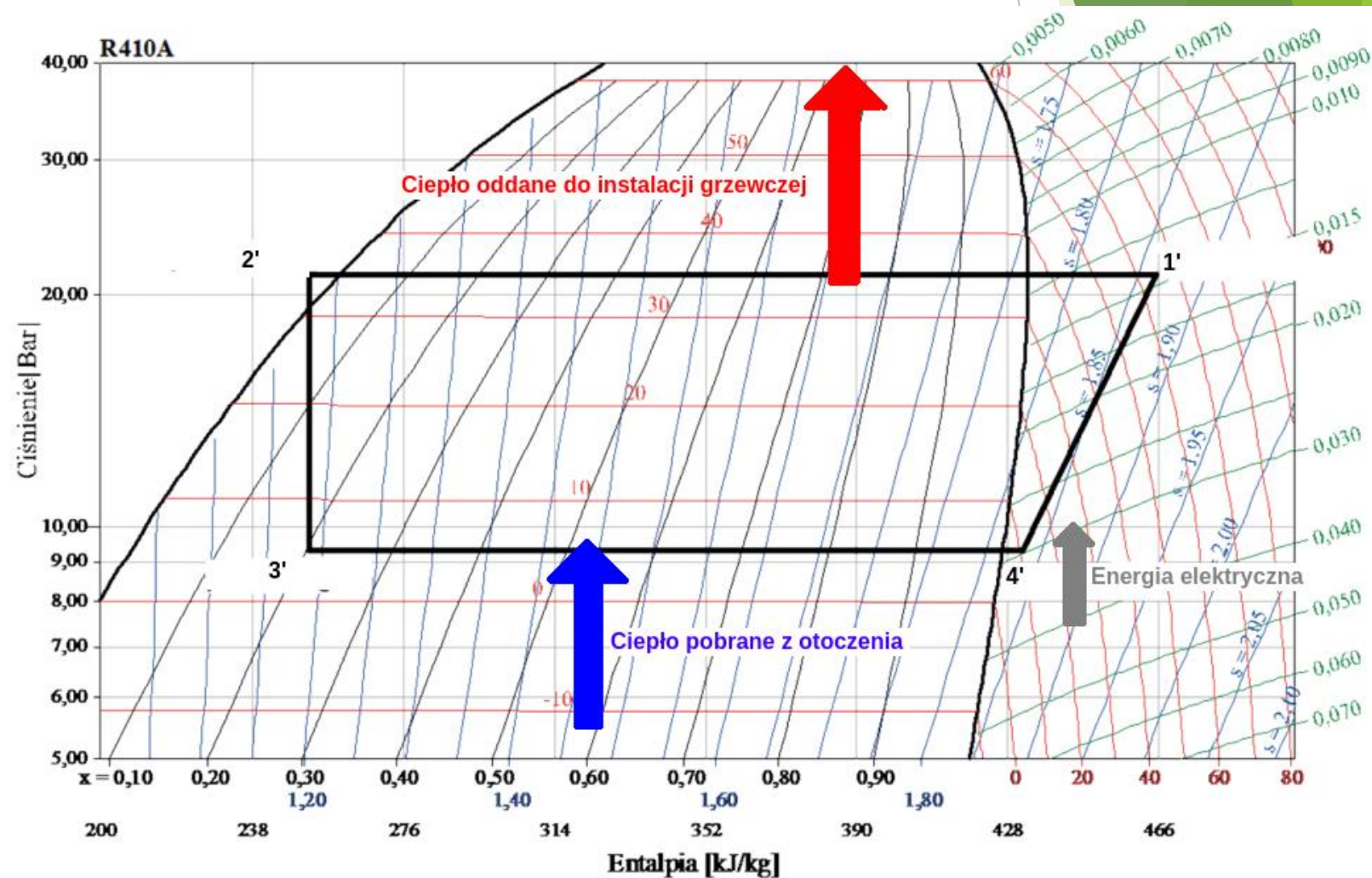
Płytki geotermia

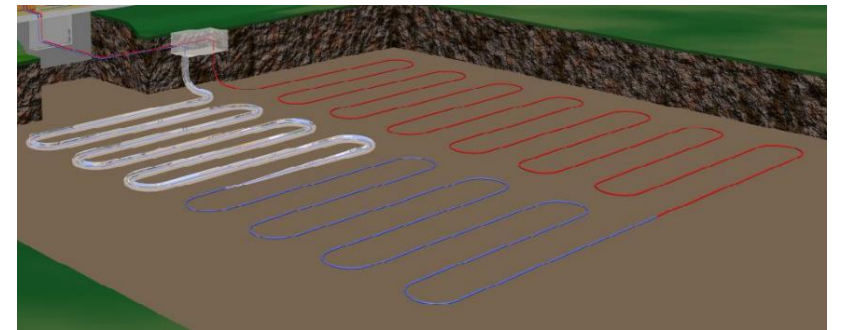
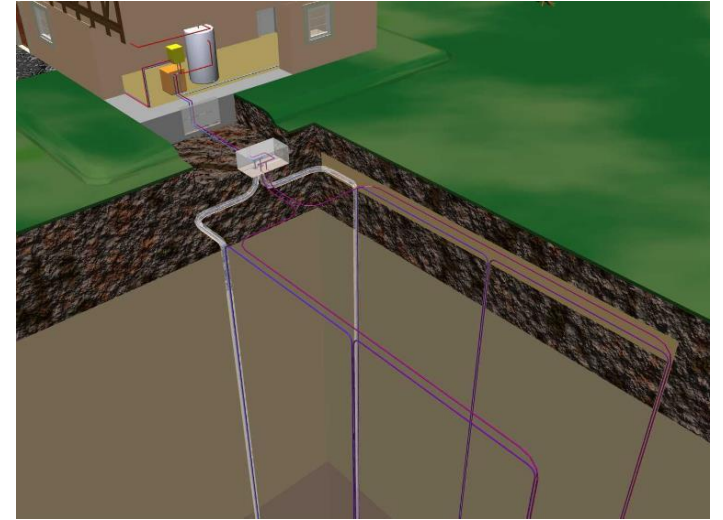
► Pompy ciepła

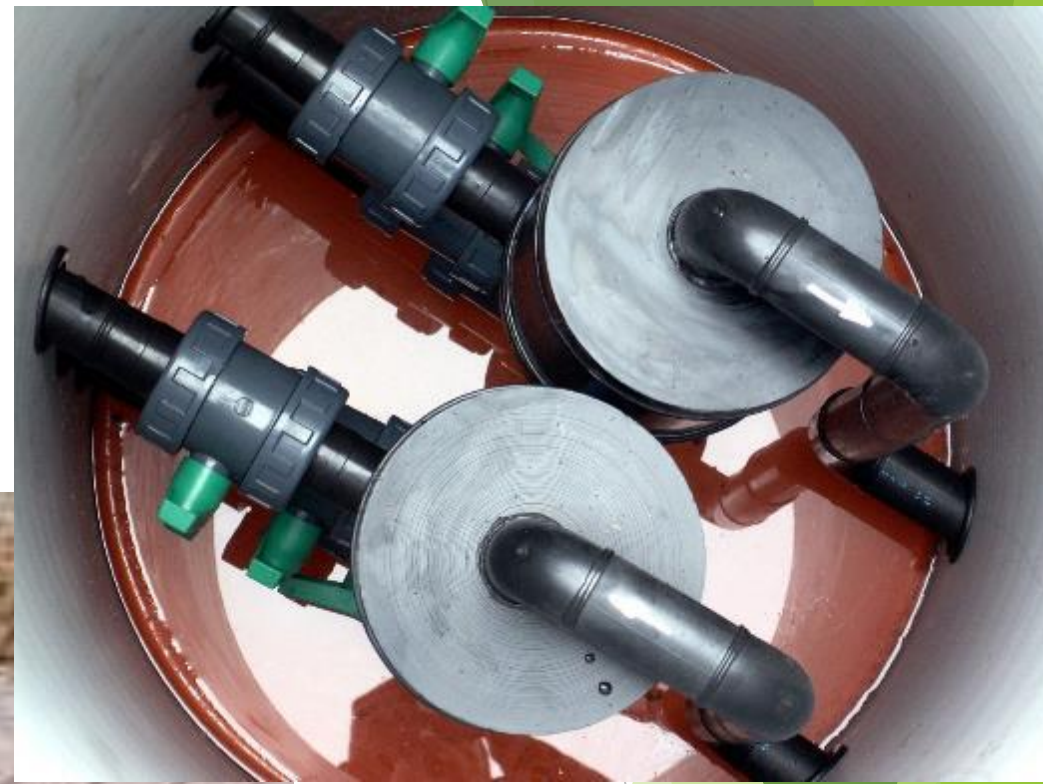


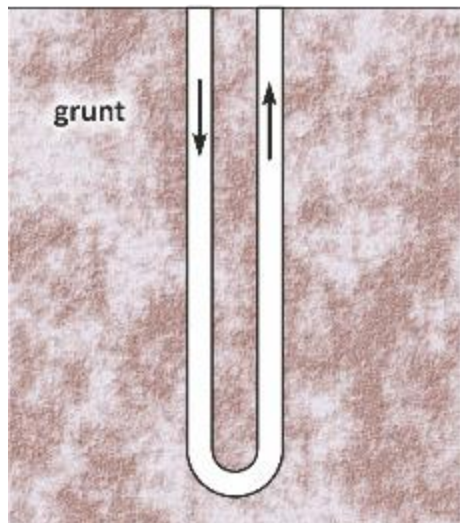
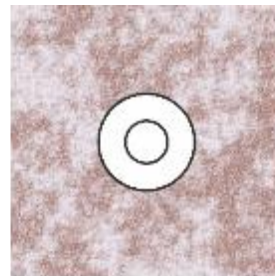
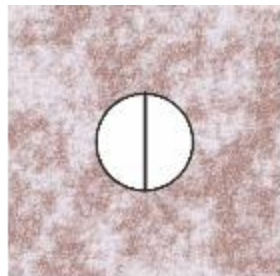
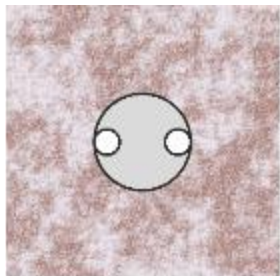
Płytki geotermia

- Pompy ciepła - takie trochę ORC, ale w drugą stronę.

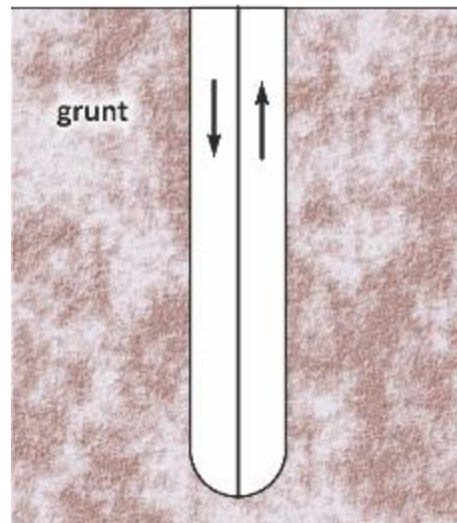




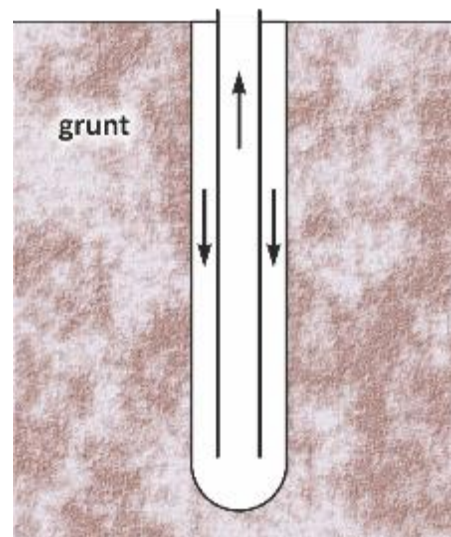




Wymiennik typu U

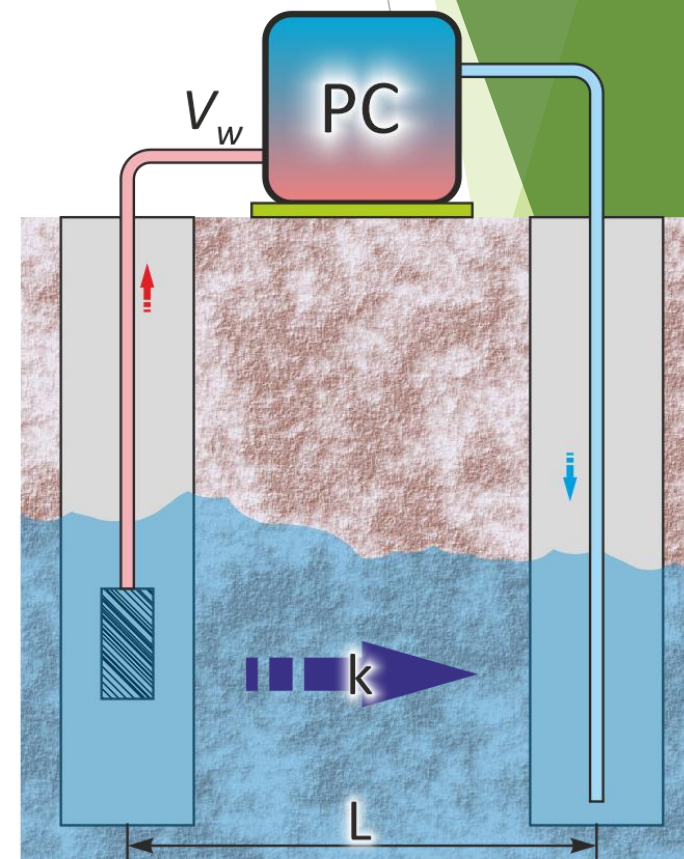
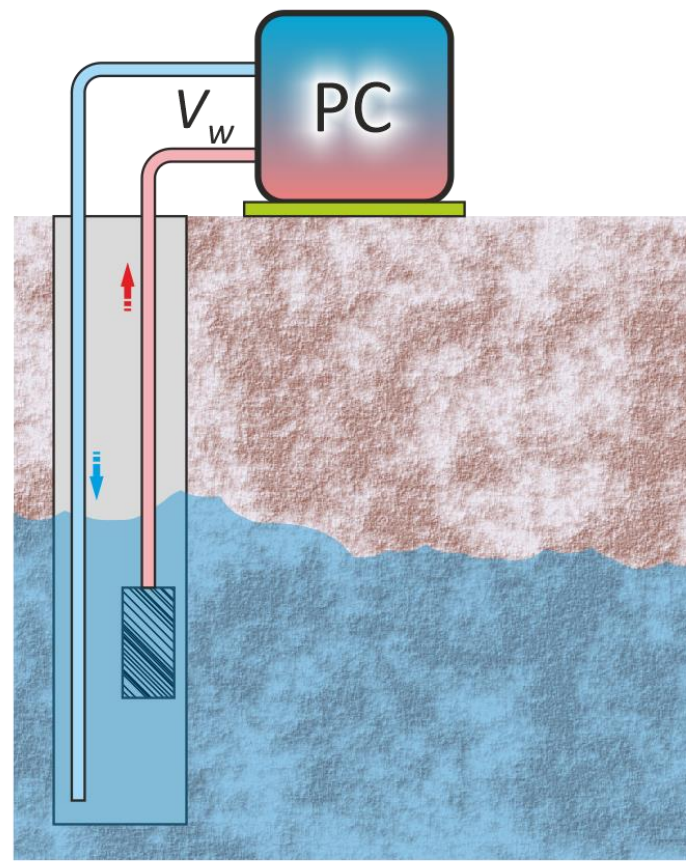
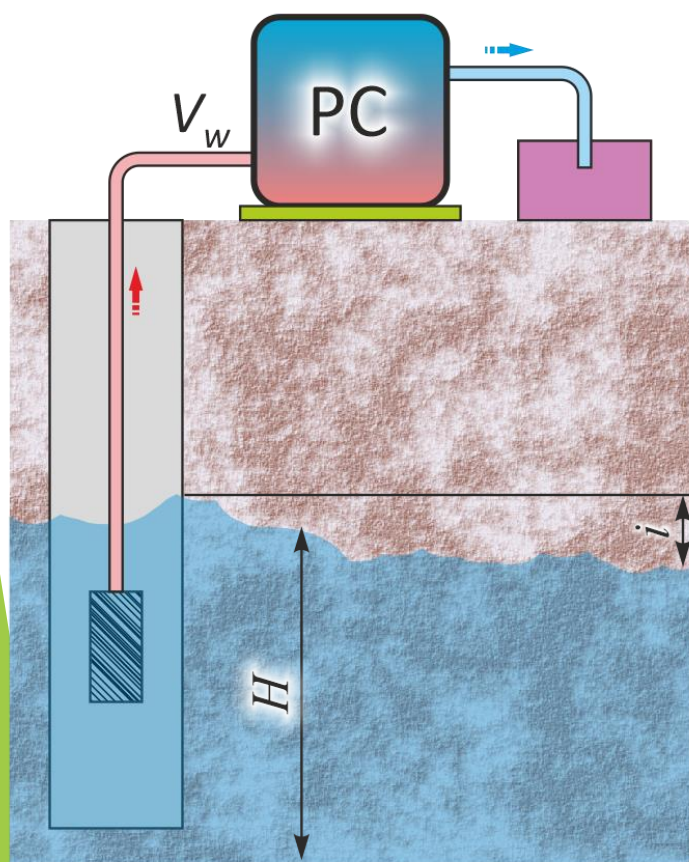


Przepływ przeciwbieżny

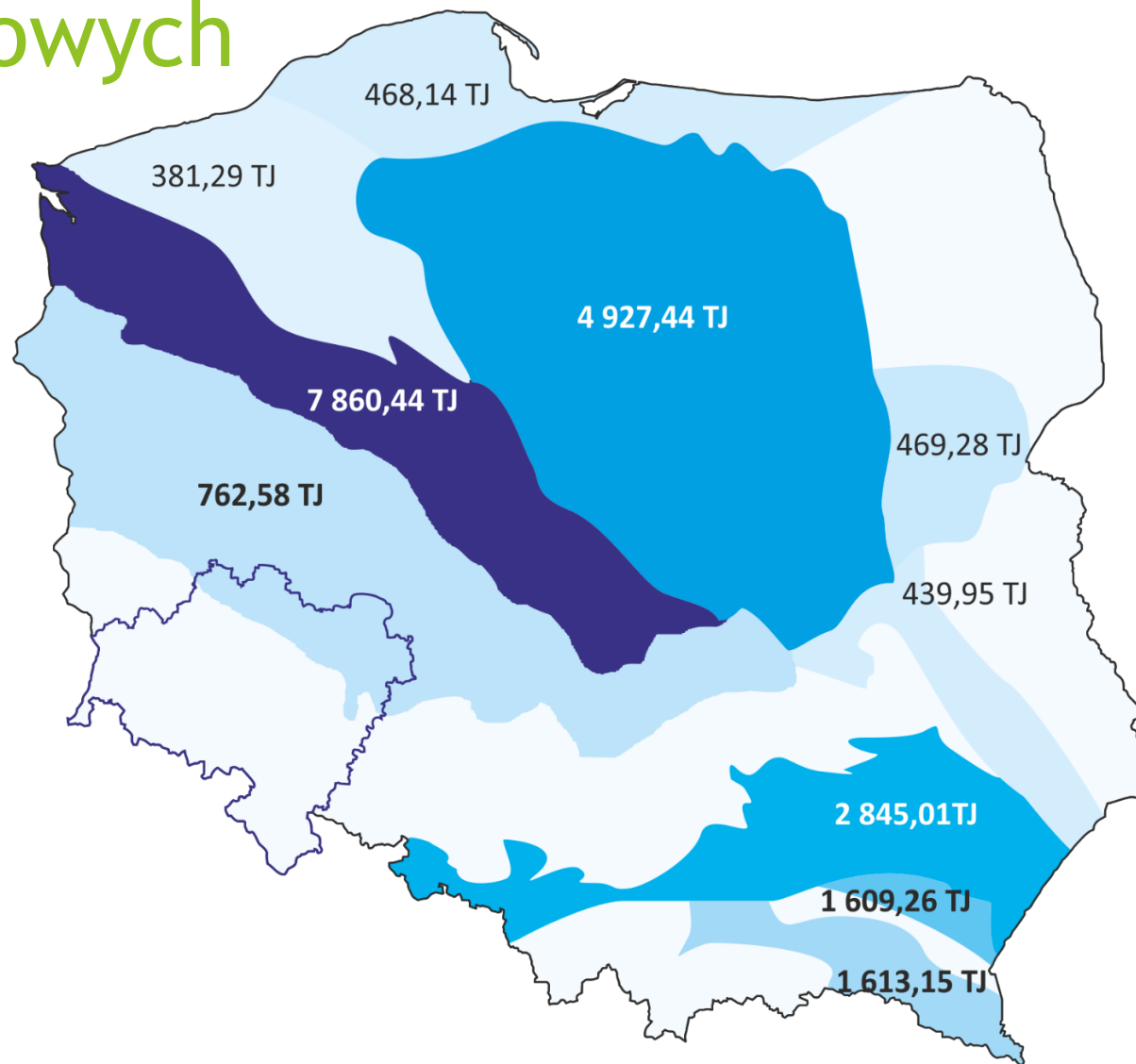


Przepływ koncentryczny

Pompa ciepła - wody gruntowe



Pompy ciepła - potencjał wód gruntowych



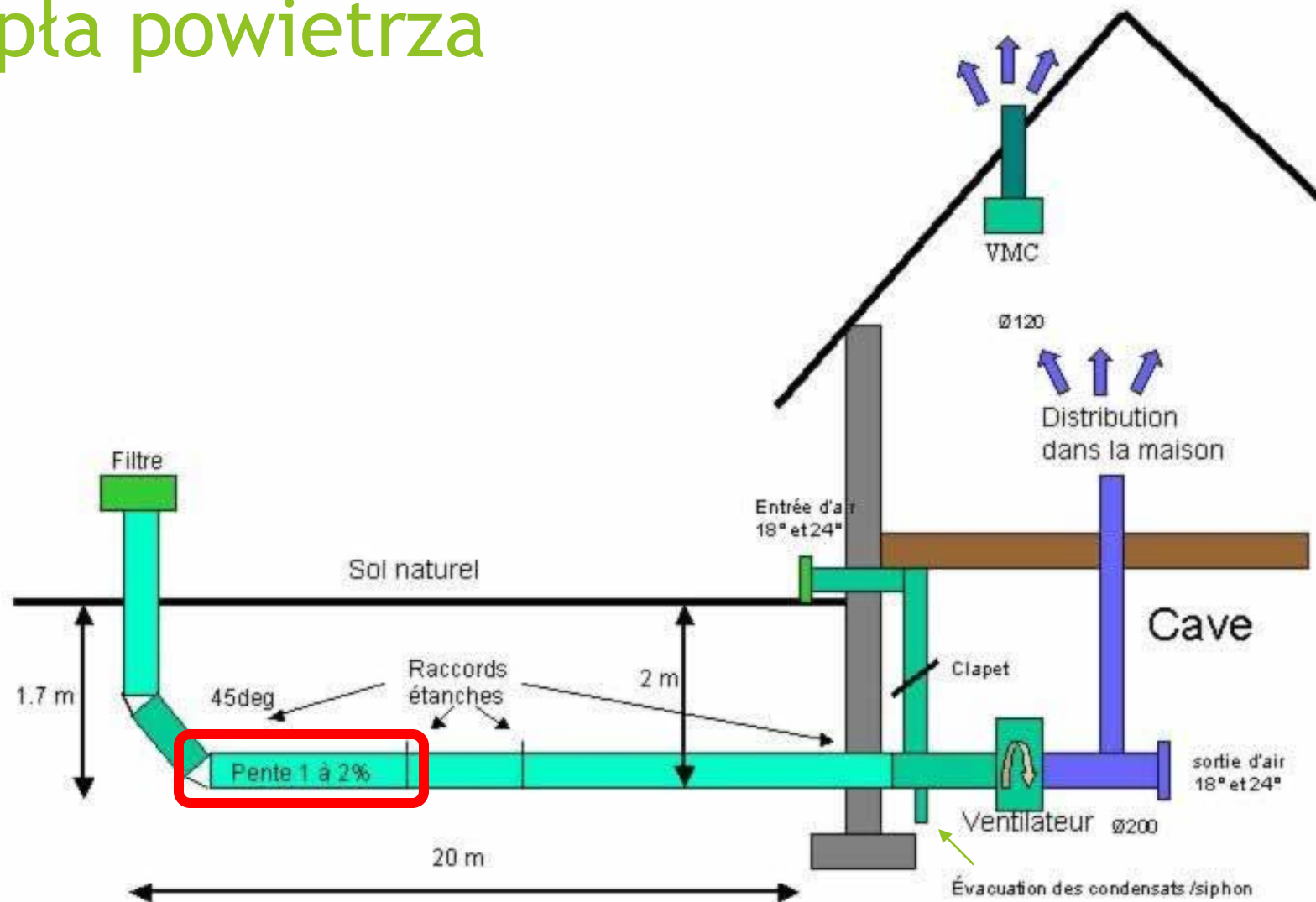
Zalecane parametry wody dla dolnego źródła

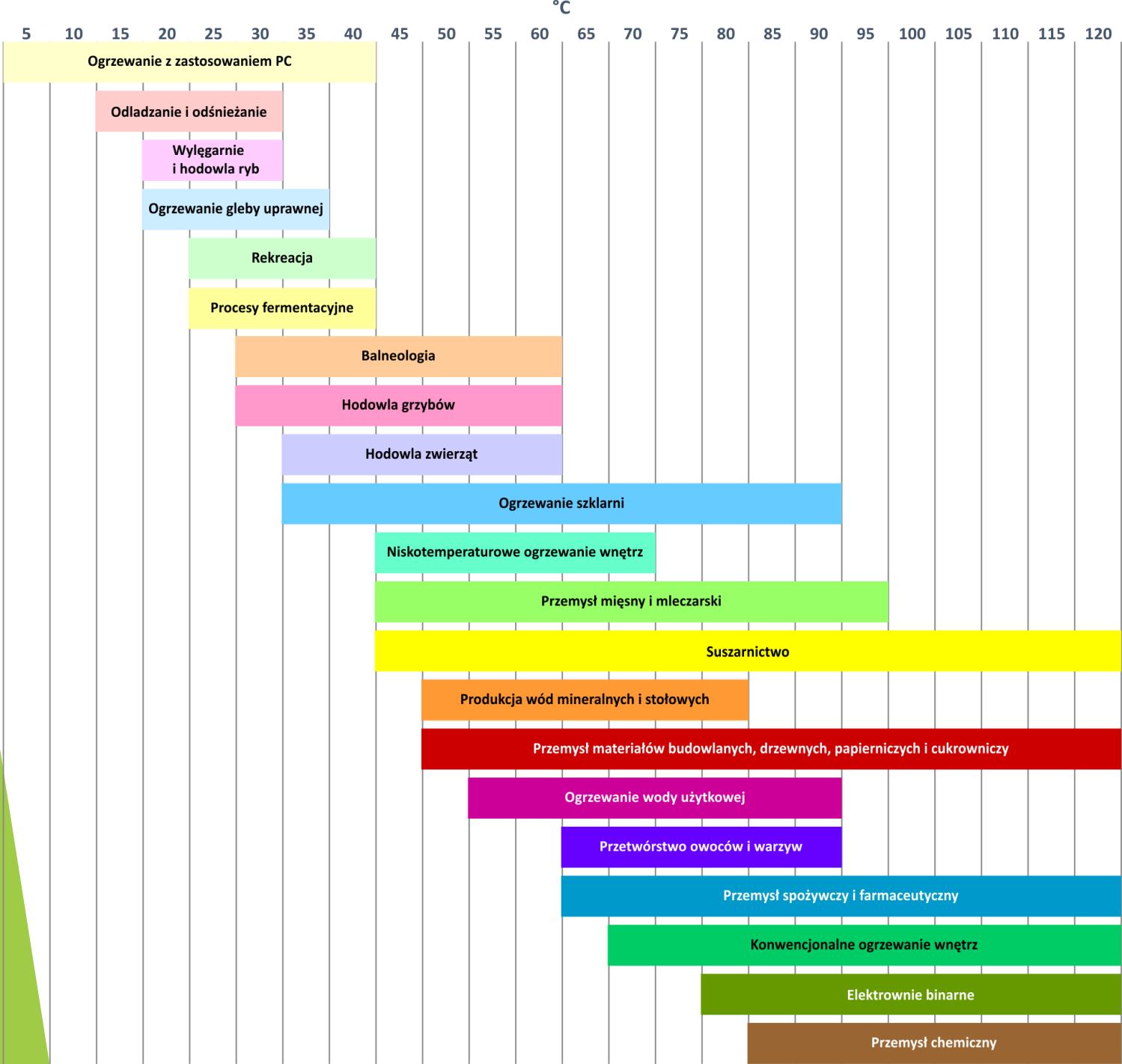
odczyn pH	6 ÷ 9
zawartość chlorków	< 300 mg/dm ³
zawartość wolnego chloru	< 0,5 mg/dm ³
zawartość azotanów NO ₃	< 100 mg/dm ³
zawartość siarczanów SO ₄	< 70 mg/dm ³
zawartość wolnego kwasu węglowego H ₂ CO ₃	< 20mg/dm ³
zawartość żelaza i manganu	< 3mg/dm ³
zawartość tlenu	< 2mg/dm ³
właściwa przewodność elektryczna	~ 50 mS/cm

Źródła termalne w Polsce

Nazwa odwiertu	Głębokość m	Temperatura °C	Przepływ m ³ /h	Strumień energii MW
Zakopane IG-4	1550-1560	39,0	170,0	7,7
Lądek 2	700	45,5	113,0	6,0
Koło IG-3	1773—1796	59,0	80,0	5,5
Cieplice 2	750	63,3	43,8	3,2
Środa IG-2	1012-1020	40,0	40,0	1,9

Studnie kanadyjskie - Gruntowe Wymienniki Ciepła powietrza





Podsumowanie