



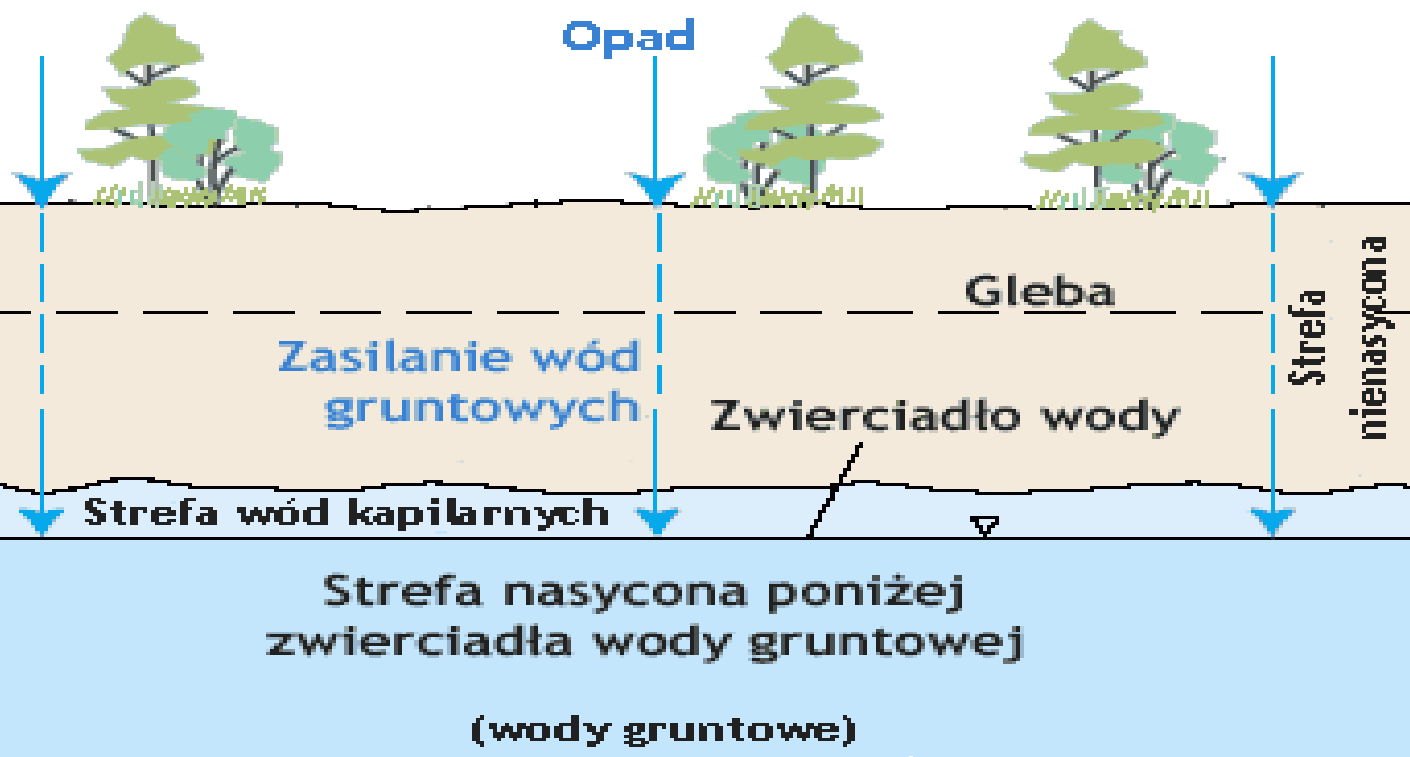
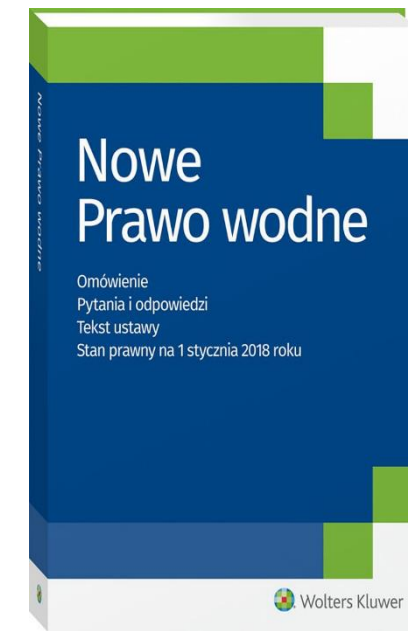
Pompy Ciepła

Wykład XI

Woda gruntowa, jako źródło ciepła do PC

Wody podziemne-gruntowe

Aby wykorzystać wodę gruntową jako dolne źródło ciepła konieczne jest przestrzeganie wymogów wynikających z prawa geologicznego i górniczego, prawa wodnego (pozwolenie wodno-prawne) oraz przepisów ochrony środowiska.



zwierciadło wód podziemnych

studnia
głębinowa

rzeka

stan
niski
stan
wysoki

stan
niski

stan
wysoki

studnia
kopana

rzeka

słup wody
w studni

- warstwa wodonośna
- warstwa półprzepuszczalna

zasięg działki inwestora

proponowana lokalizacja studni

Metoda geofizyczna - elektrooporowa w poszukiwaniach warstw wodonośnych.

48

64

80

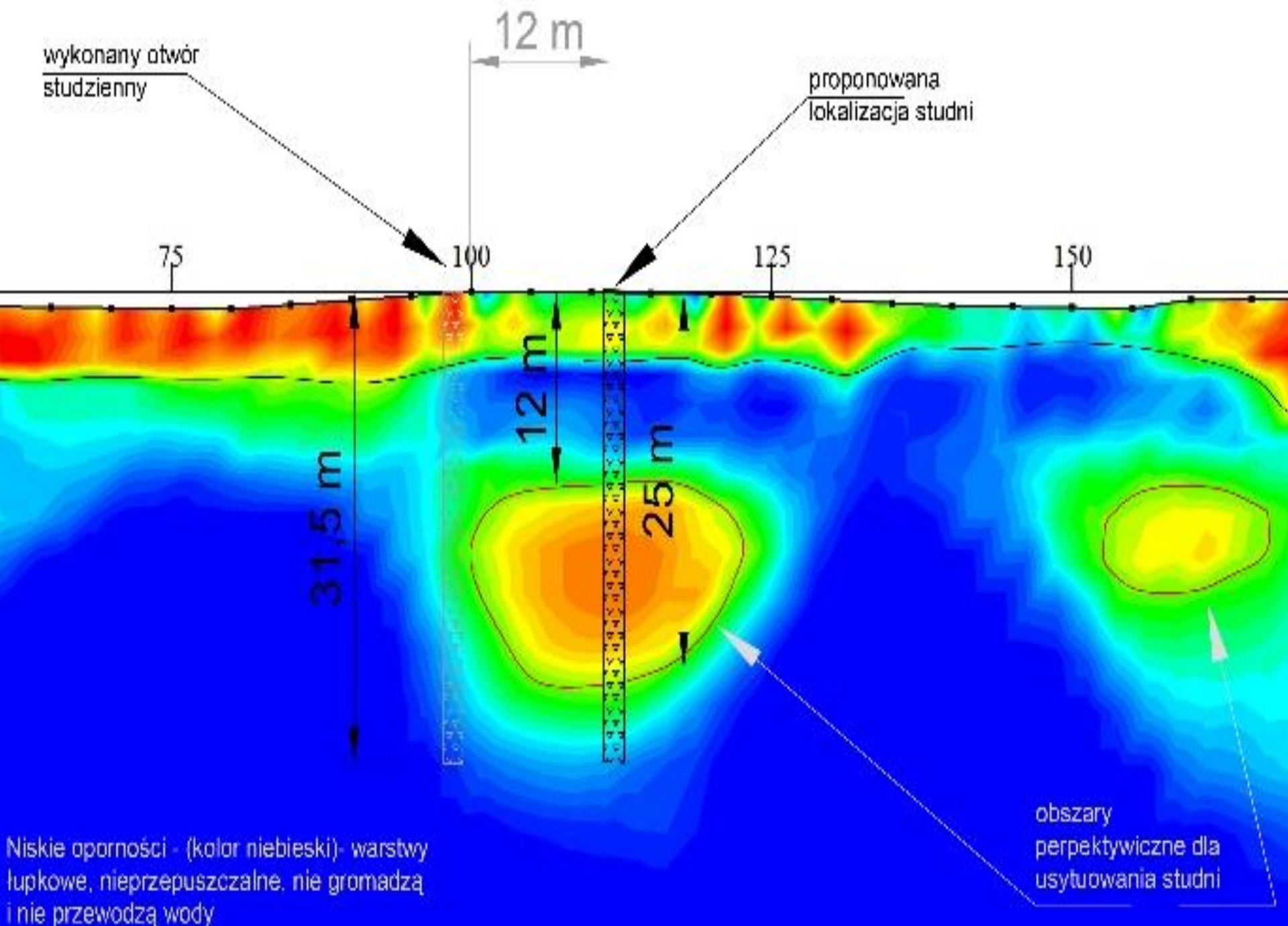
96

warstwa piaszczysta sucha

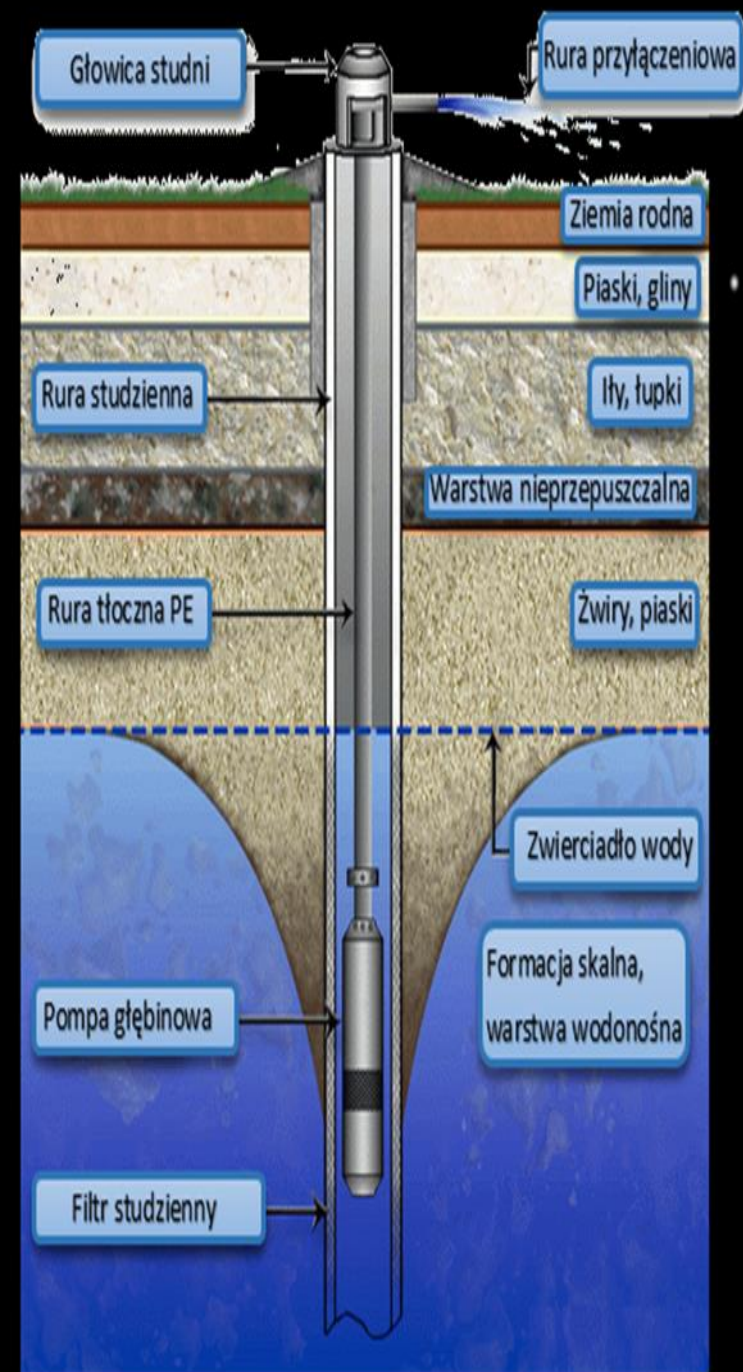
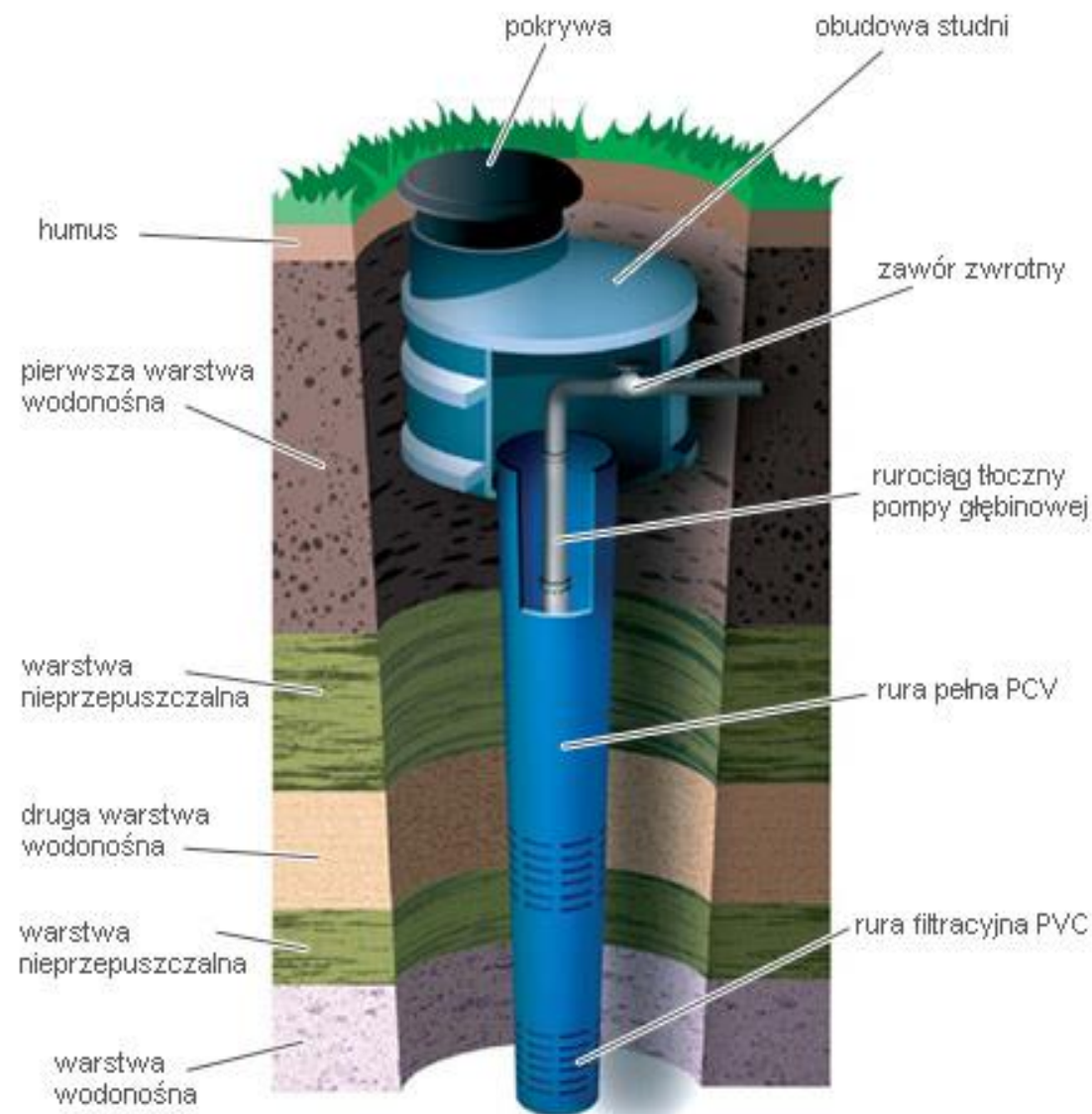
grunty spoiste nieprzepuszczalne

Oporność elektryczna warstwy wodonośnej występującej w rejonie badań jest znacząco wyższa, niż oporność otaczających w podłożu warstw spoistych. Stąd wysoki gradient oporności występujący na granicy warstw jest podstawą do wyznaczenia stropu i spągu warstwy wodonośnej.

warstwy ilaste starszego miocenijskiego podłoża - nieprzepuszczalne



Wody podziemne gruntowe



Wody podziemne- gruntowe

- Stała i stosunkowo wysoka temperatura 8-12 a nawet 15 C
- Dobra koherentność- niższa temperatura na wiosnę gdy mija szczytowe zapotrzebowanie na ciepło
- Niskie koszty eksploatacyjne
- Możliwość odprowadzenia wody z powrotem do ziemi
- Możliwość poboru i odbioru w jednym odwiercie.
- Duże koszty inwestycyjne.
- Zanieczyszczenia i korozja.



Instalacja systemu-woda gruntowa

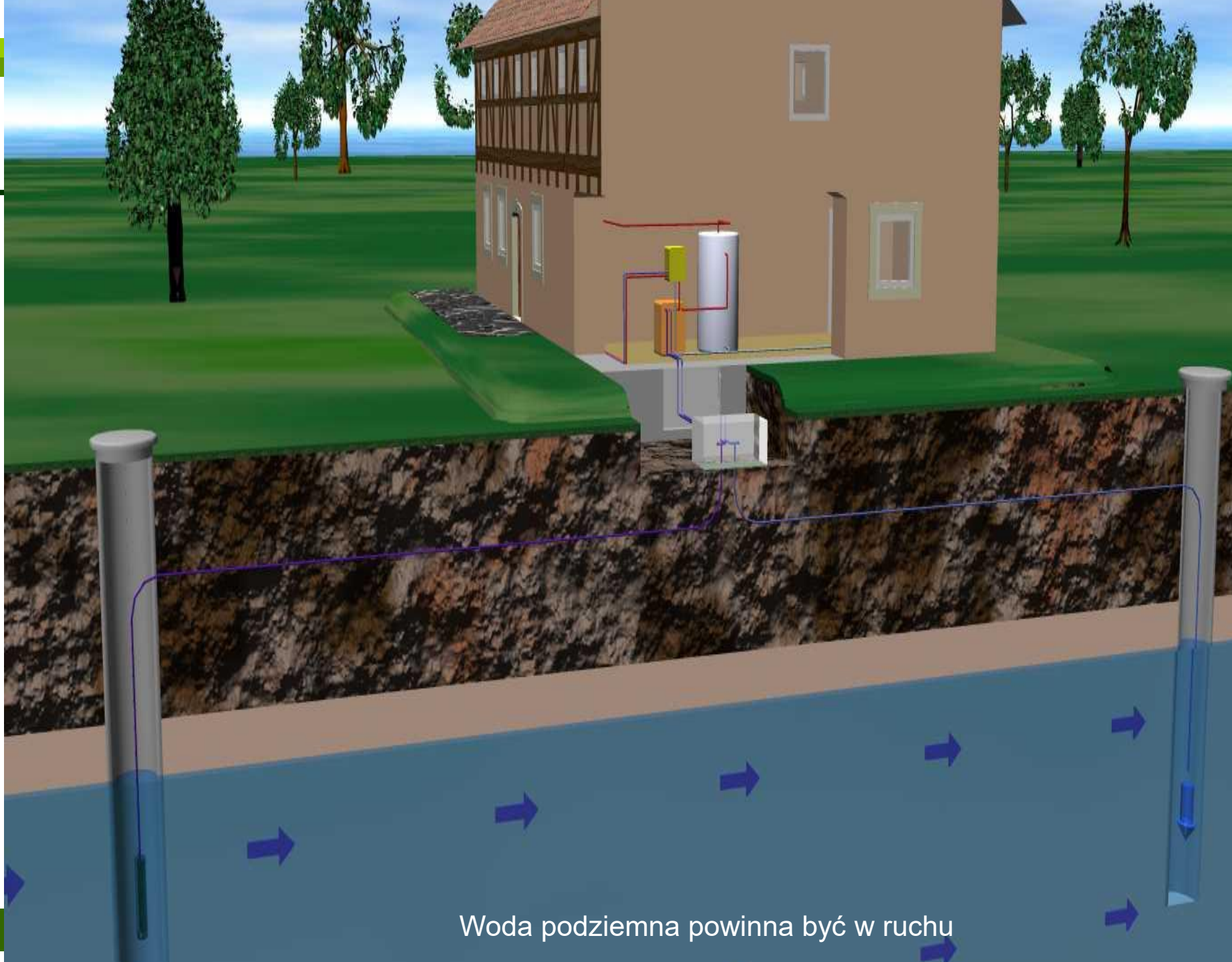
Studnia zasilająca, którą woda jest wydobywana na powierzchnię terenu

Studnia chłonna umożliwiające jej powtórne zatłoczenie do warstwy wodonośnej. O ile studnia eksploatacyjna jest zazwyczaj jedna, studni chłonnych może być kilka.



Aby zagwarantować prawidłowe działanie instalacji studnia chłonna powinna znajdować się poniżej studni eksploatacyjnej zgodnie z kierunkiem przepływu wody gruntowej w odległości nie mniejszej niż 15-20 m, aby zapobiec powrotowi wody ze studni chłonnej do studni eksploatacyjnej.

Odległość pomiędzy studniami zależy od właściwości gruntu oraz poziomu wody gruntowej. Ponadto konieczne jest, aby warstwa zaflirtowania studni była w tej samej warstwie wodonośnej. Woda kierowana studnią chłonną do warstwy wodonośnej powinna mieć niezmienny skład chemiczny ze względu na wymogi ochrony środowiska.



Woda podziemna powinna być w ruchu

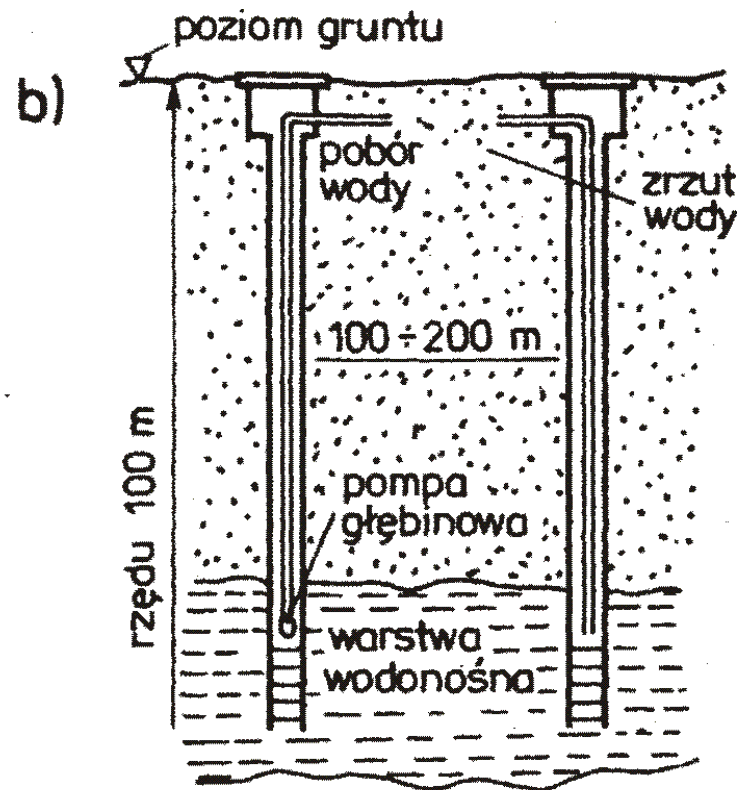
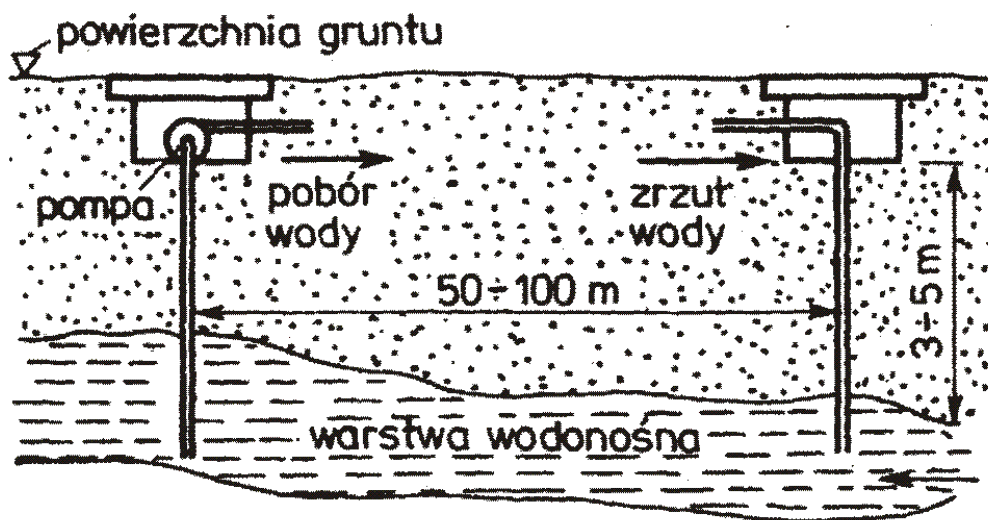
Wody podziemne

Rys. Schematy ujęć źródła dolnego w postaci wód podziemnych:

a) powierzchniowych, b) głębinowych

Wody gruntowe płytkie < 10 m raczej nie nadają się dla pomp ciepła.

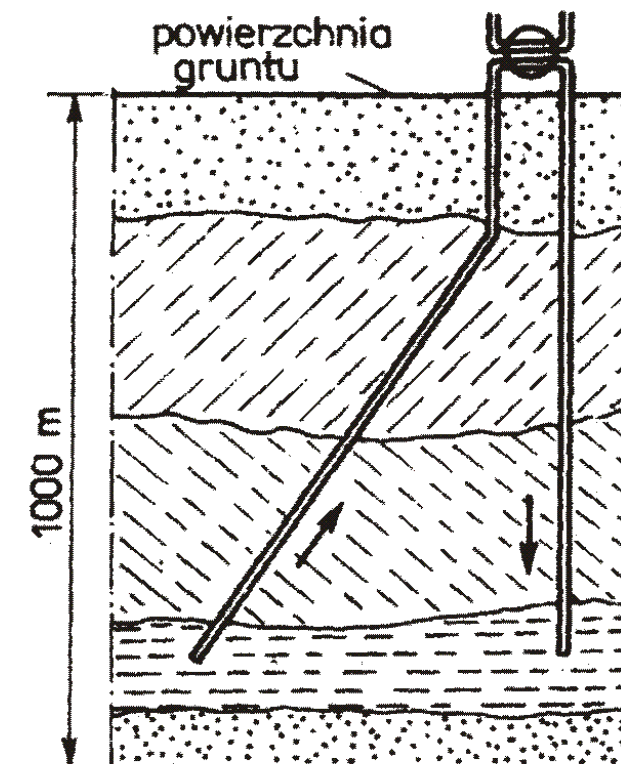
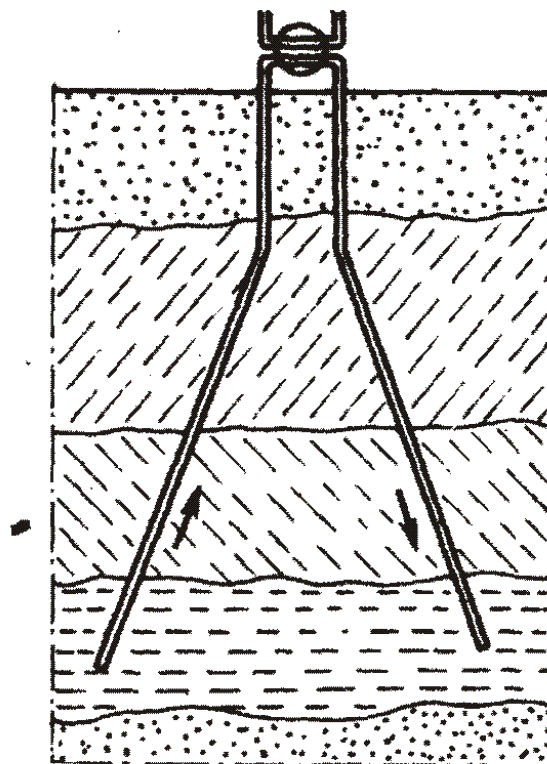
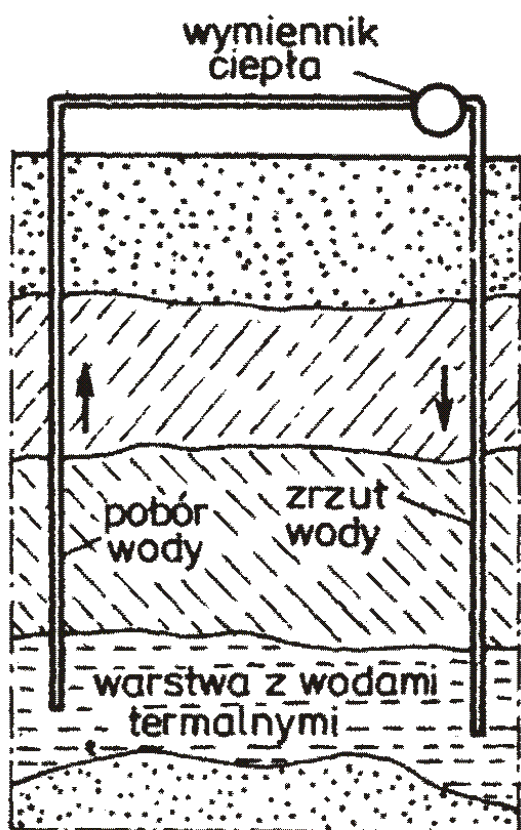
a)



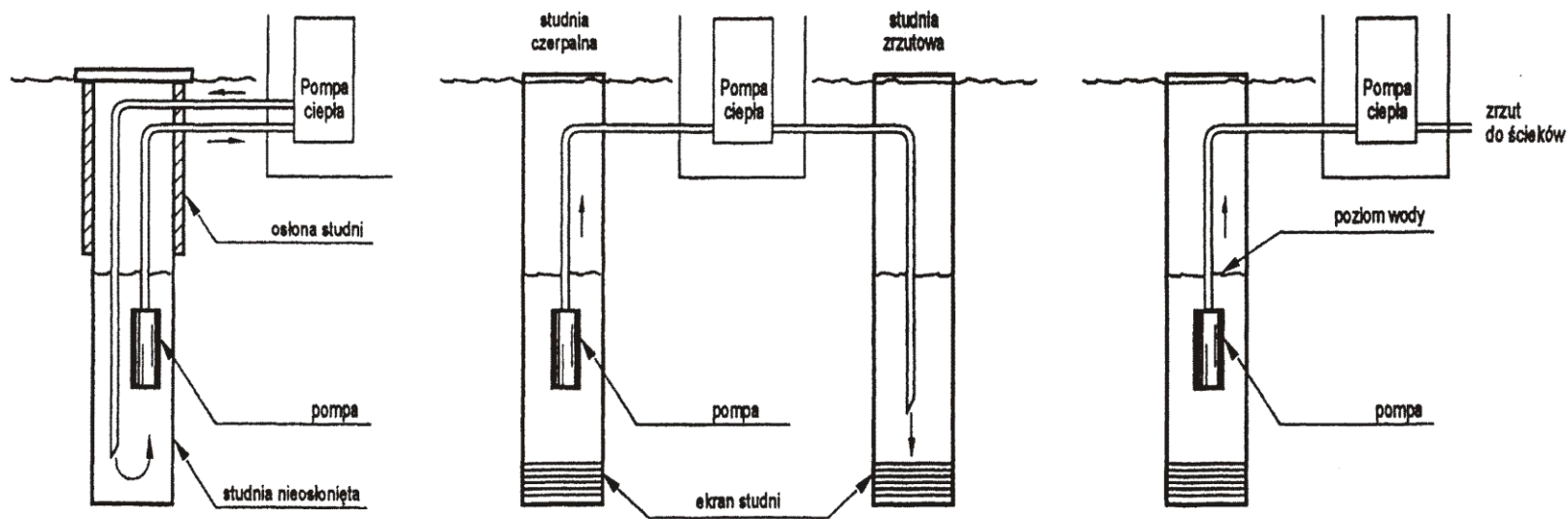
Wody podziemne

Rys. Schematy ujęć źródła dolnego w postaci wód podziemnych:

c)



Wody podziemne- odległość min 15-20 m



a) system studni pojedynczej

b) system dwóch studni

b) system studni pojedynczej ze zrzutem do ścieków

Rys. Schemat ujęć wód podziemnych

■ **Wody gruntowe-- głębokość**

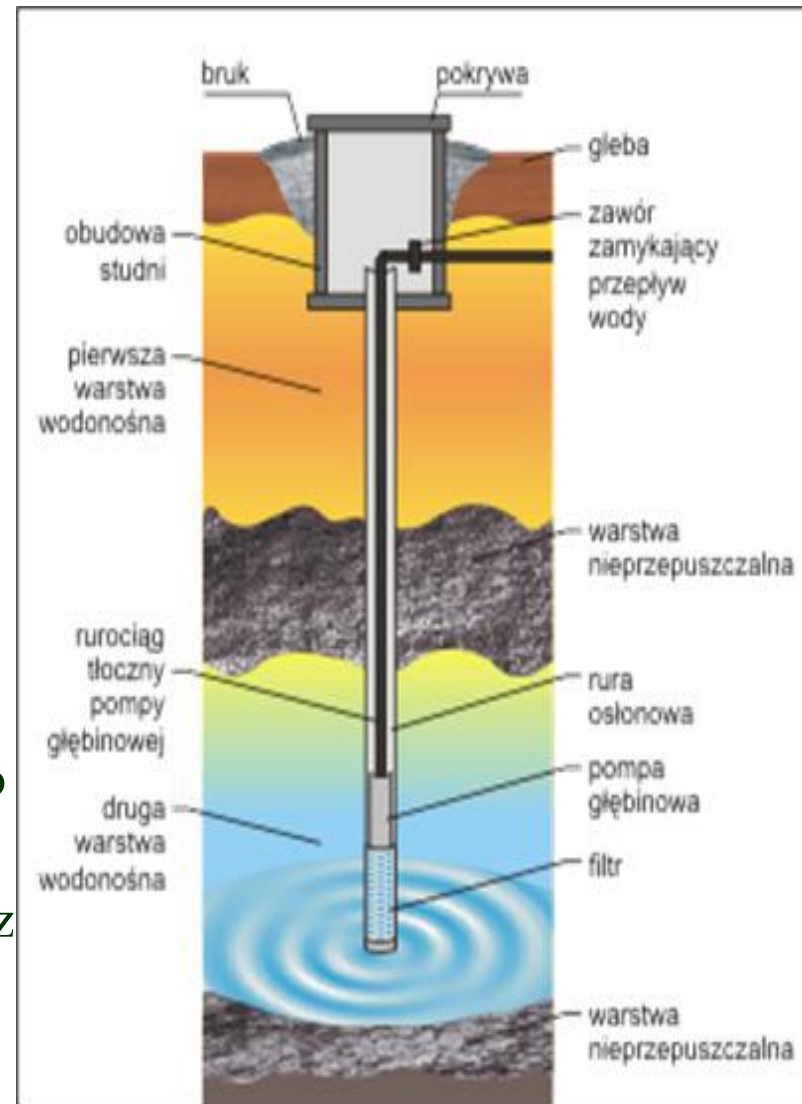
- Wysoka efektywność wykorzystania wód gruntowych jako dolnego źródła ciepła spowodowana jest ich wysoką akumulacyjnością cieplną oraz stosunkową stałą temperaturą na poziomie 8-14°C (w okresie zimowym 8-12°C, latem 10-14°C) na głębokości 10-15 m poniżej powierzchni terenu.
- Głębokość 10-15 m, z której czerpane są zwykle wody gruntowe wynika z wysokich kosztów pompowania wód z głębokości > 15 m, co wpływa na opłacalność ekonomiczną inwestycji.
- Przy przekroczeniu głębokości 30 m, konieczne jest uzyskanie pozwolenia wodnoprawnego. Należy jednak pamiętać, że temperatura wód gruntowych zależy od głębokości występowania warstwy wodonośnej i bezpośrednio wpływa na możliwość wykorzystania jej jako dolnego źródła ciepła. Do obliczeń przyjmuje się zwykle uśrednioną wartość temperatury na poziomie 10°C.
- Istotny wpływ ma także skład chemiczny wody powodujący, że jej wykorzystanie nie zawsze jest możliwe (np. z powodu wysokiej mineralizacji).

Projektowanie instalacji i metodyka obliczeń

- Przed rozpoczęciem prac nad wykonaniem dolnego źródła konieczne jest przeprowadzenie odwiertu próbnego.

- Umożliwia on bowiem zgromadzenie i analizę niezbędnych informacji o budowie hydrogeologicznej (rodzaj warstw gruntu, głębokość występowania zwierciadła wody, miąższość poziomu wodonośnego) oraz składzie chemicznym wody, niezwykle istotnych z punktu widzenia prawidłowego zaprojektowania instalacji oraz jej efektywnego działania w czasie przyszłej eksploatacji.

- Po uzyskaniu danych z odwiertu próbnego oraz w oparciu o wymagania urzędowe można przystąpić do projektowania studni.



Wpisz tutaj równanie. Wymagana wydajność
ujęcia wody:

$$Q_u = \frac{24}{n} \cdot \frac{1}{86400} \cdot Q_{d_{\max}} (1 + \alpha) \beta + Q_r$$

Q_u - wymagana wydajność ujęcia wody, na którą projektuje się moc dolnego źródła ciepła pompy ciepła m^3/s

n - liczba godzin pracy ujęcia, a zasadniczo pompowni, w ciągu doby, h/d;

$Q_{d_{\max}}$ - maksymalne dobowe zapotrzebowanie na wodę uwzględniające prace pompy ciepła w warunkach ekstremalnych

α - współczynnik uwzględniający straty i straty przesyła
0,05;

β - współczynnik uwzględniający procesy starzenia się konstrukcji studziennych i wynikająca stąd konieczność prowadzenia okresowych remontów lub renowacji; orientacyjnie $\beta = 1,0 \div 1,35$ (im mniejsza liczba obiektów ujmujących wodę, tym większa wartość współczynnika β);

Q_r - dodatkowo ujmowana woda przeznaczona na uzupełnianie zapasów (np. wody na cele przeciwpożarowe) lub ze względu na przewidywaną rozbudowę jednostki osadniczej, m^3/s .

Z technicznego punktu widzenia, aby rozwiązanie takie miało sens

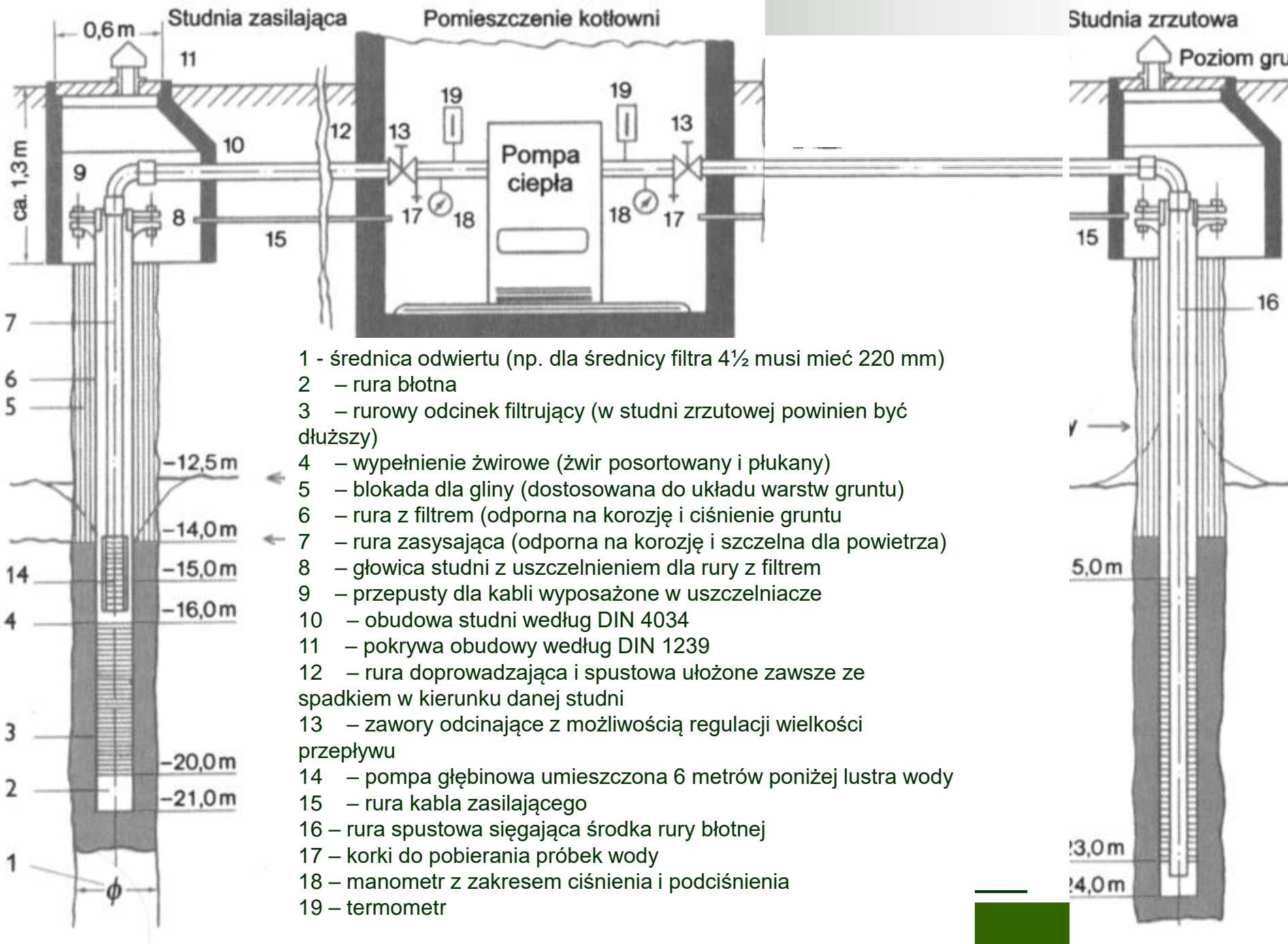
- Temperatura wody gruntowej w czasie jej eksploatacji powinna wynosić minimum 6°C,
- nie może być zanieczyszczona,
- a jej zrzut za pomocą studni chłonnej powinien być efektywny.
- Warunki te przekładają się na wydajność eksploatacyjną ujęcia wody, która powinna wynosić nie mniej niż
- **0,21 m³/h na 1 kW mocy chłodniczej pompy ciepła.**



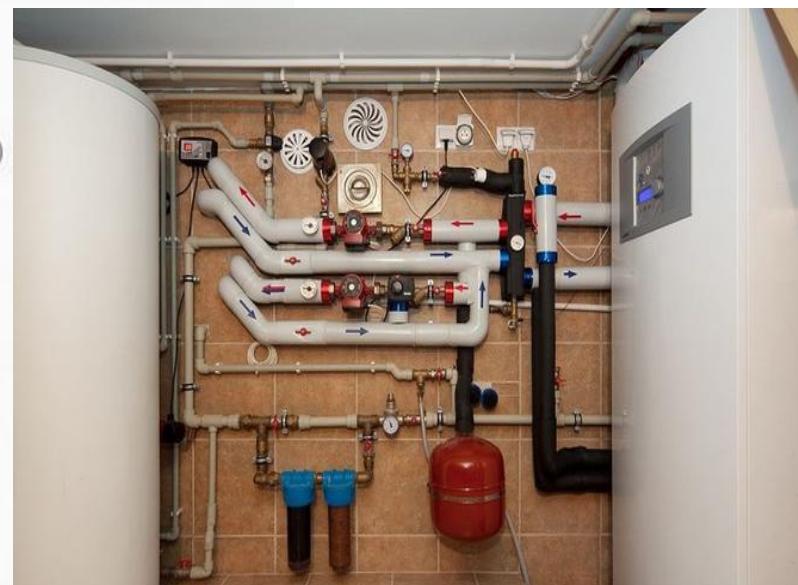
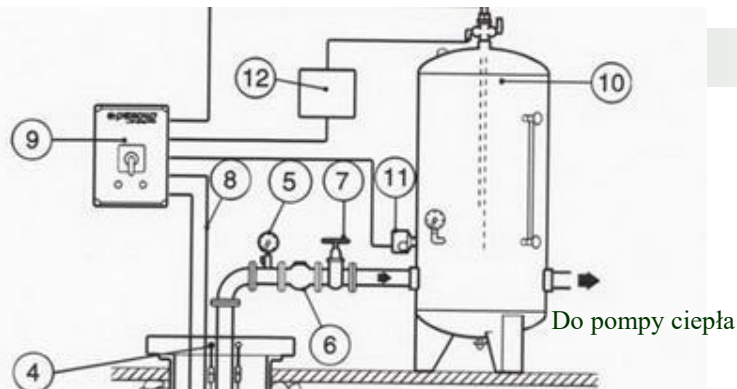
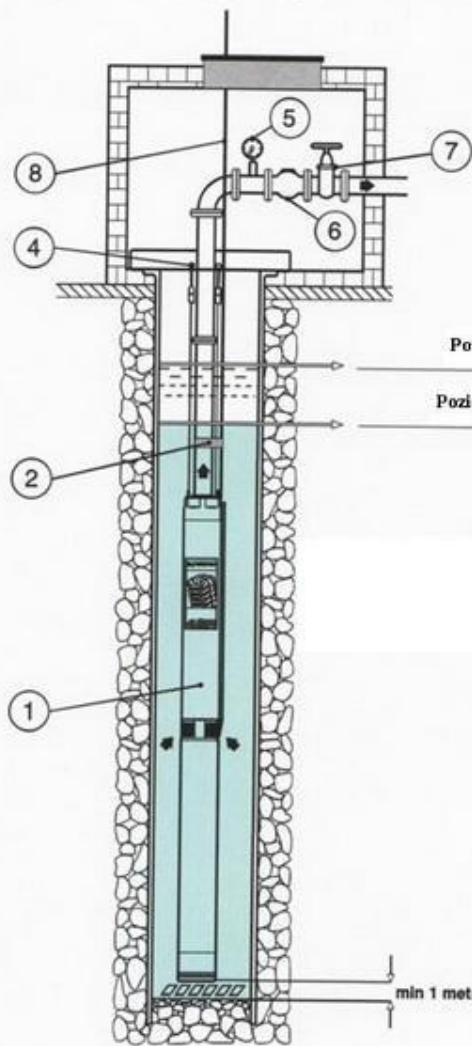
Wymagana nominalna wydajność studni jest zawsze wprost proporcjonalna do mocy, którą pobiera pompa ciepła. W poniższej tabeli przedstawiono te zależności.

Moc grzewcza pompy ciepła (kW)	Moc pobierana ze studni (kW)	Wydajność (l/h)
14	11,5	3300
22	16	5000
27	22	7000
40	33	9500
80	62,5	20 000

Orientacyjnie, na każdy kilowat mocy pompy ciepła przypada wydajność około 300 litrów na godzinę. Znając tę liczbę możemy policzyć wydajność studni dla praktycznie każdej pompy ciepła.



Przykład instalacji pomp głębinowych 4 SR



Poziom Statyczny
Poziom Dynamiczny

Do pompy ciepła

min 1 metr

min 1 metr

- 1) 4 SR pompa głębinowa PEDROLLO
- 2) Zaciski zabezpieczające kabel elektryczny
- 3) Czujki (sondy) poziomu wody,
- 4) Linka podwieszenia pompy
- 5) Manometr
- 6) Zawór zwrotny

- 7) Zawór regulacyjny przepływu wody
- 8) Kabel elektryczny
- 9) Skrzynka kontroli pracy
- 10) Zbiornik
- 11) Wyłącznik ciśnieniowy
- 12) Elektrozawór/sprężarka powietrza

Dobór pompy głębinowej



- Pompa głębinowa :
 - wymaganej wydajności pompy ciepła
 - obliczonej wysokości podnoszenia na podstawie różnicy poziomu lustra wody w studniach pobierczej i chłonnej,
 - strat ciśnienia w i oporów hydraulicznych w parowniku pompy
 - wymiennika pośredniego – stosowane w celu ochrony wymiennika w pompie ciepła przed agresywnym charakterem wód gruntowych spowodowanego np. wysoką mineralizacją) oraz oporów rurociągów, wmontowanej armatury i głębokości studni

■ Problemy eksploatacyjne

- - skład fizyko-chemiczny.
- Przy przekroczeniu dopuszczalnych wartości związków chemicznych w wodzie może wystąpić:
 - narastanie szlamu na ściankach studni,
 - wytrącanie się żelaza
 - (efekt utleniania prowadzący do powstania zawiesiny tlenków żelaza),
 - korozja wymienników ciepła,
 - zanieczyszczenia biologiczne,
 - ograniczenie dopływu świeżej wody,
 - zamulanie (kolmatacja złoża) oraz
 - uszkodzenie obramowania studni
- w wyniku eksploatacji złoża oraz czynników zewnętrznych (np. nawożenie rolnicze) jakość wody może ulegać zmianie, stąd konieczność monitorowania jej stanu.

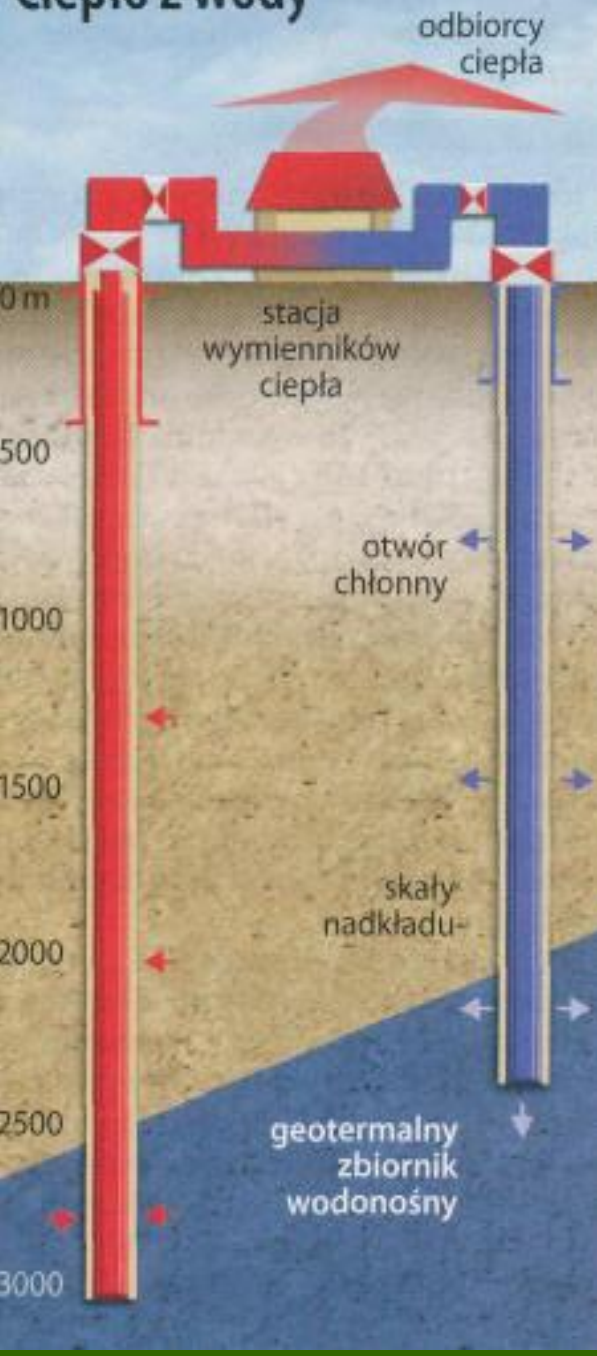






Pompy ciepła

Ciepło z wody



GEOTERMIA

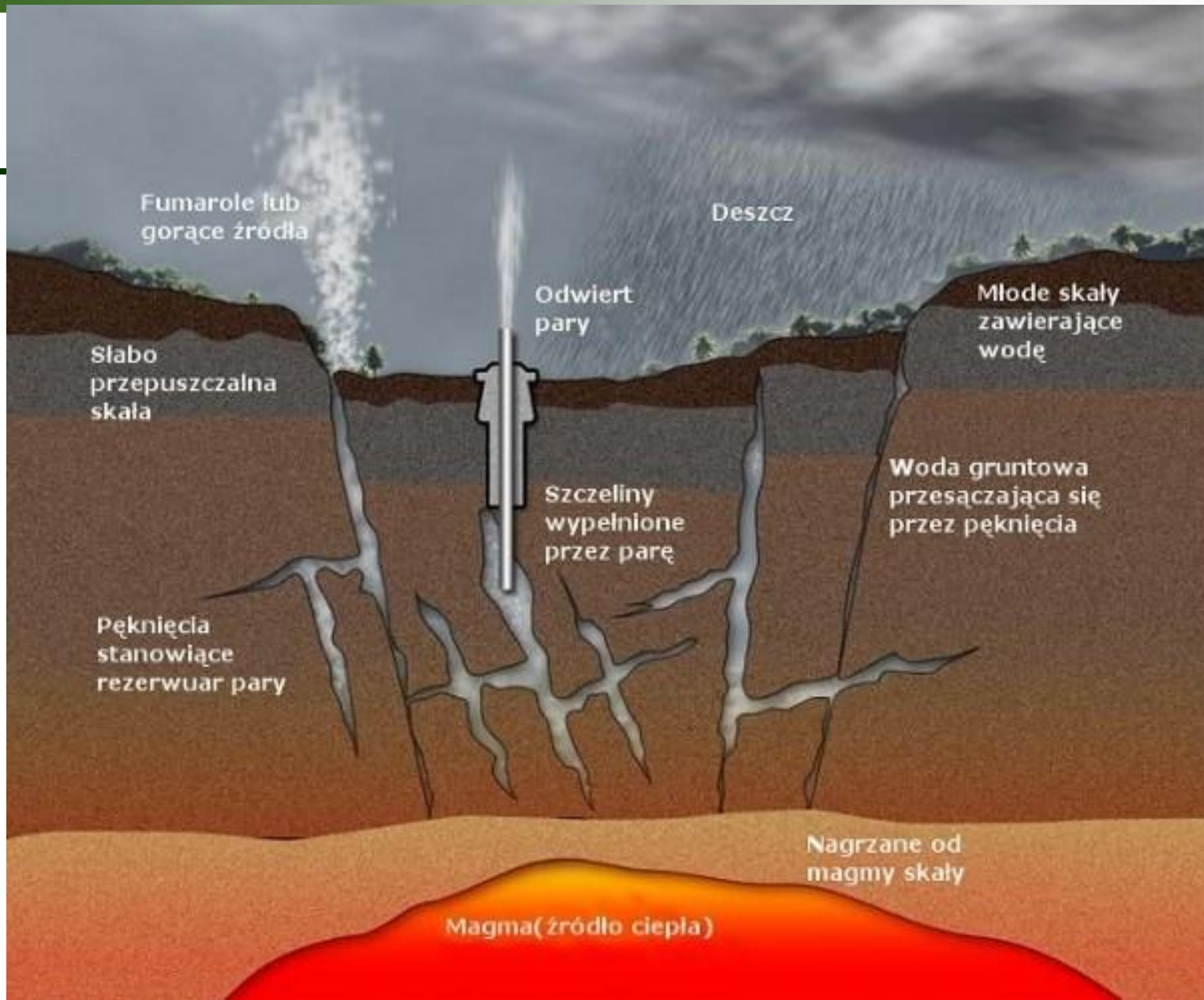
WADY

- DOSTĘPNOŚĆ
- WYSOKIE KOSZTA
- PODCZAS WYDOBYCIĄ MOGĄ WYDOSTAĆ SIĘ SZKODLIWE GAZY I MINERAŁY
- PROBLEMY TECHNICZNE PRZY UTRZYMANIU URZĄDZEŃ

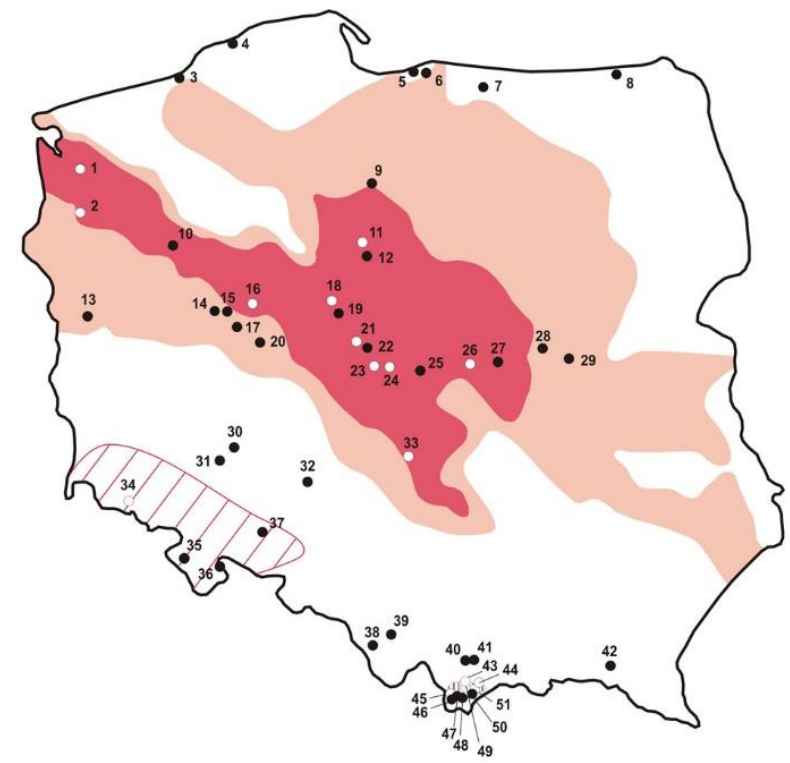
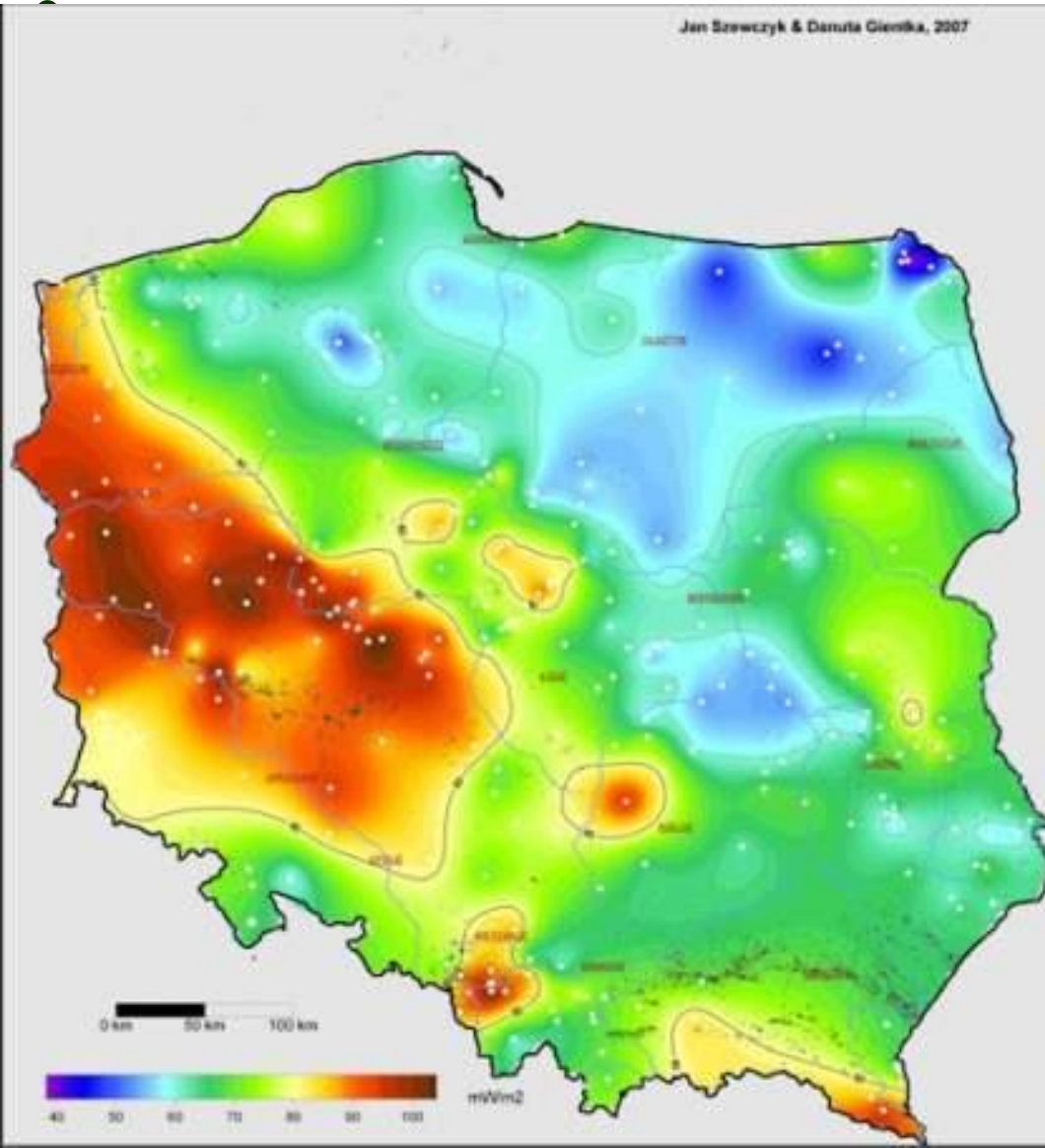
ZALETY

- CZYSTE ŹRÓDŁO ENERGII
- NIEWYCZERPALNOŚĆ
- NIEZALEŻNOŚĆ OD POGODY I KLIMATU
- NISKIE KOSZTA EKSPLOATACJI





Wody termalne



Wybrane otwory z udokumentowanymi zasobami eksploatacyjnymi wód termalnych

- o temperaturze 20-50°C
- o temperaturze >50°C

Występowanie wód termalnych o temperaturze

- 20-50°C (w utworach kredy dolnej lub jury dolnej Niziu Polskiego)
- >50°C (w utworach kredy dolnej lub jury dolnej Niziu Polskiego)
- ▨ 20-80°C (w utworach paleogenu i mezozoiku Podhala)
- ▧ 20-90°C (w obrębie Sudeckiego Regionu Geotermicznego)

1 - Stargard Szczeciński GT-2; 2 - Pyrzyce GT-1, GT-3; 3 - Jamno IG-3; 4 - Uszka IGH-1; 5 - Krynica Morska IG-1; 6 - Frombork IGH-1; 7 - Lidzbark Warmiński GT-1; 8 - Goldap GZ-1; 9 - Grudziądz IG-1; 10 - Pila IG-1; 11 - Toruń TG-1; 12 - Ciechocinek XIV, XVI, XVIII; 13 - Łagów IG-1; 14 - Tarnowo Podgórne GT-1; 15 - Swarzędz IGH-1; 16 - Pobiedziska IGH-1; 17 - Środa IG-2; 18 - Wilczyn IGH-1; 19 - Ślesin IGH-1; 20 - Czeszewo IG-1; 21 - Koło IG-3; 22 - Dobrow IGH-1; 23 - Uniejów IGH-1, PIG/AGH-1; 24 - Poddębice GT-2; 25 - Łódź EC-II; 26 - Skiermiewice GT-2; 27 - Mszczonów IG-1; 28 - Warszawa IG-1; 29 - Wilga IG-1; 30 - Trzebnica IG-1; 31 - Wojnow W-1; 32 - Wolczyn VIIA; 33 - Kleszczów GT-1; 34 - Cieplice C-1, C-2; 35 - Duszniki GT-1; 36 - Łądek L-2; 37 - Odra 5/1; 38 - Ustron U-3, U-3A; 39 - Jaworze IG-1, IG-2; 40 - Rabka IG-2; 41 - Poręba Wielka IG-1; 42 - Lubatowska 12, 14; 43 - Bańska IG-1, PGP-1; 44 - Białka Tatrzńska GT-1; 45 - Chocholów PIG-1; 46 - Siwa Woda IG-1; 47 - Szymoszkowa GT-1; 48 - Zakopane IG-1, 2; 49 - Furmanowa PIG-1, Poronin PAN-1; 50 - Zazadna IG-1; 51 - Bukowina PIG/PNIG-1

Rys. Rozmieszczenie wód termalnych w Polsce

Wody podziemne -termalne

Największe źródła termalne z samowypływem eksploatowane w kraju

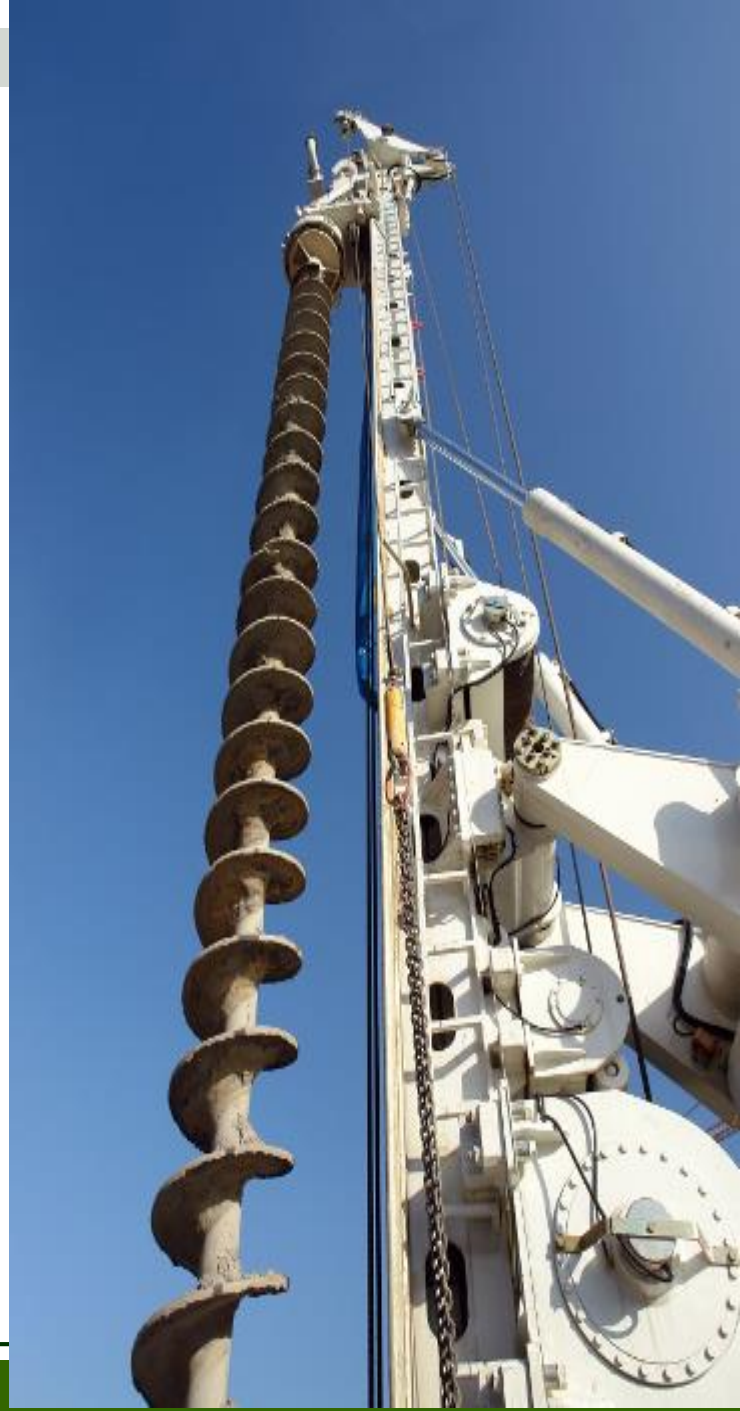
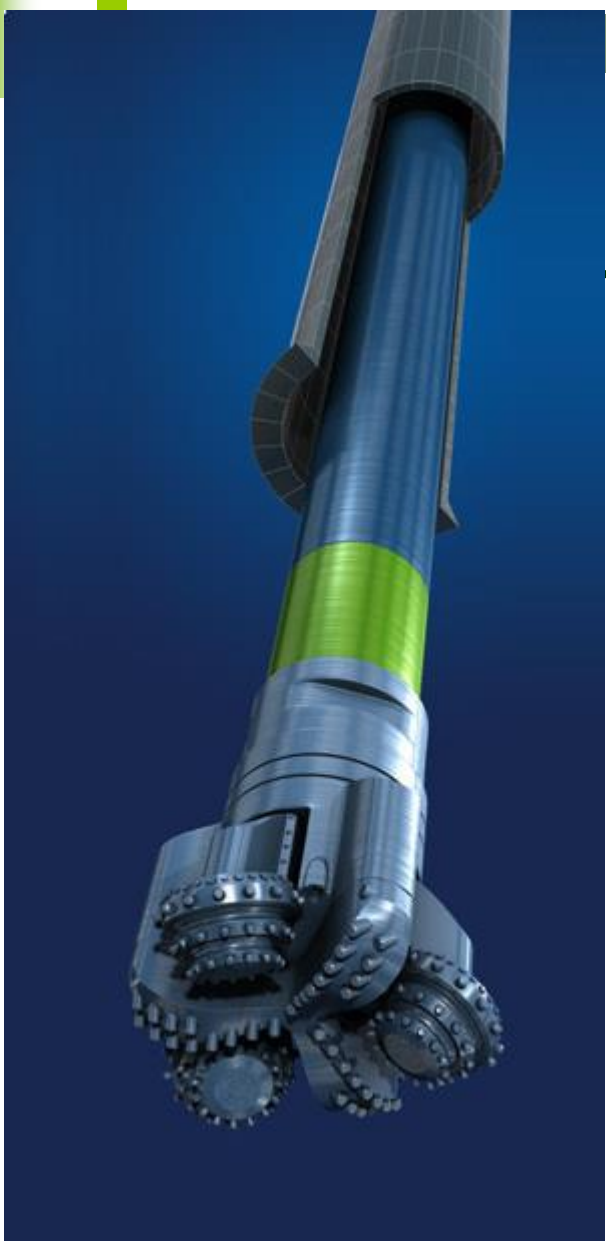
Nazwa odwiertu	Głębokość m	Temperatura °C	Przepływ m ³ /h	Strumień energii MW
Zakopane IG-4	1550-1560	39,0	170,0	7,7
Lądek 2	700	45,5	113,0	6,0
Koło IG-3	1773-1796	59,0	80,0	5,5
Cieplice 2	750	63,3	43,8	3,2
Środa IG-2	1012-1020	40,0	40,0	1,9

Wyszczególnienie	Temperatura wypływu [°C]	Zasoby eksploatacyjne [m³/h]	Mineralizacja [g/dm³]
Pyrzyce GT-1 Pyrzyce GT-2	61	340	120
Stargard Szczeciński GT-1	87	200	140
Tarnowo Podgórne GT-1	44	220	80
Uniejów PIG/AGH-2	68	120	8
Poddębice GT-2	72	115	< 0,5
Kleszczów GT-1	52	200	6
Mszczonów IG-1	40	60	< 0,5
Gostynin GT-1	82	120	144
Toruń TG-1	64	350	107
Piaseczno GT-1	45	120	90

Ciepłownie geotermalne w Polsce

Lokalizacja	Rok otwarcia	Temperatura wody na wypływie [°C]	Maksymalna wydajność wody [m³/h]	Mineralizacja wody [g/dm³]	Zainstalowana moc geotermalna, 2015 [MW _{th}]	Całkowita moc zainstalowana 2015 [(MW _{Th})]	Sprzedaż ciepła z geotermii 2016 [TJ]	Udział geotermii w całkowitej sprzedaży ciepła [%]
Podhale	1993	82-86	960	22,5	40,7	82,6	384,3	91,2
Mszczonów	2000	42	60	00,5	3,7	8,3	14,9	38,2
Poddębice	2013	68	252	00,4	10	10	56,3	100
Uniejów	2000	68	120	66-8	3,2	7,4	9,0	29
Pyrzyce	1994	61	360	120	6	22	50,3	57
Stargard	2012	83	180	150	12,6	12,6	187	100
Razem					76,2	142,9	702	

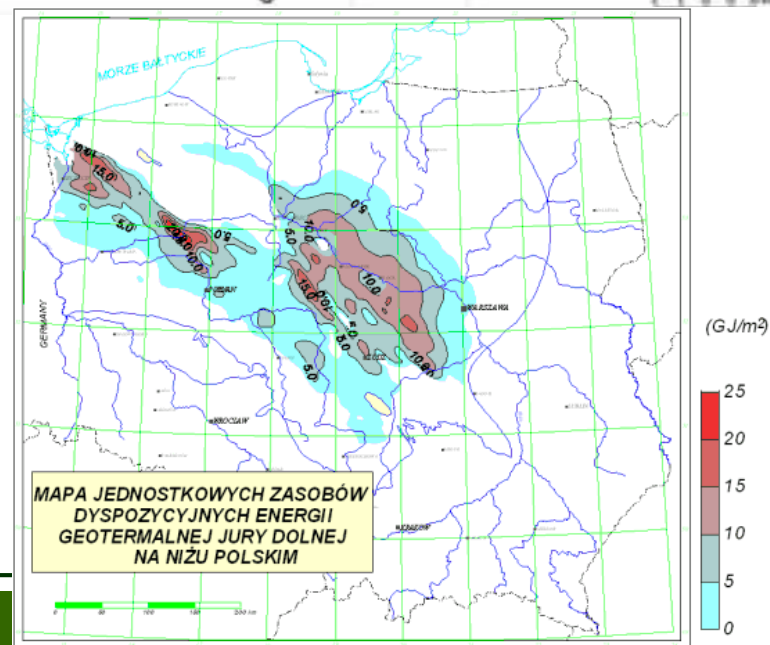
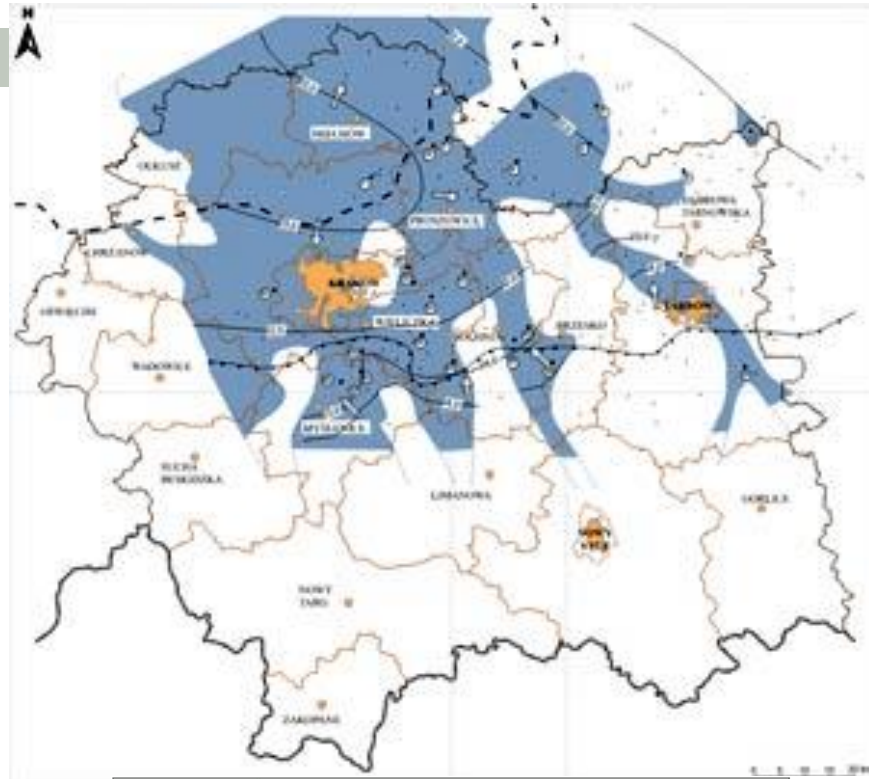
Źródło: "Energia geotermalna - podstawy niskoemisyjnego ciepłownictwa, poprawy warunków życia i zrównoważonego rozwoju - wstępne studia możliwości dla wybranych obszarów w Polsce", listopad 2017 r.



Pompy ciepła

Wody termalne

WODY MINERALNE WOJEWÓDZTWA PODKARPACKIEGO



Wody termalne



Ge
TOR



Geotermia Toruń

Koncepcje wykorzystania ciepła geotermalnego

Parametry wstępne

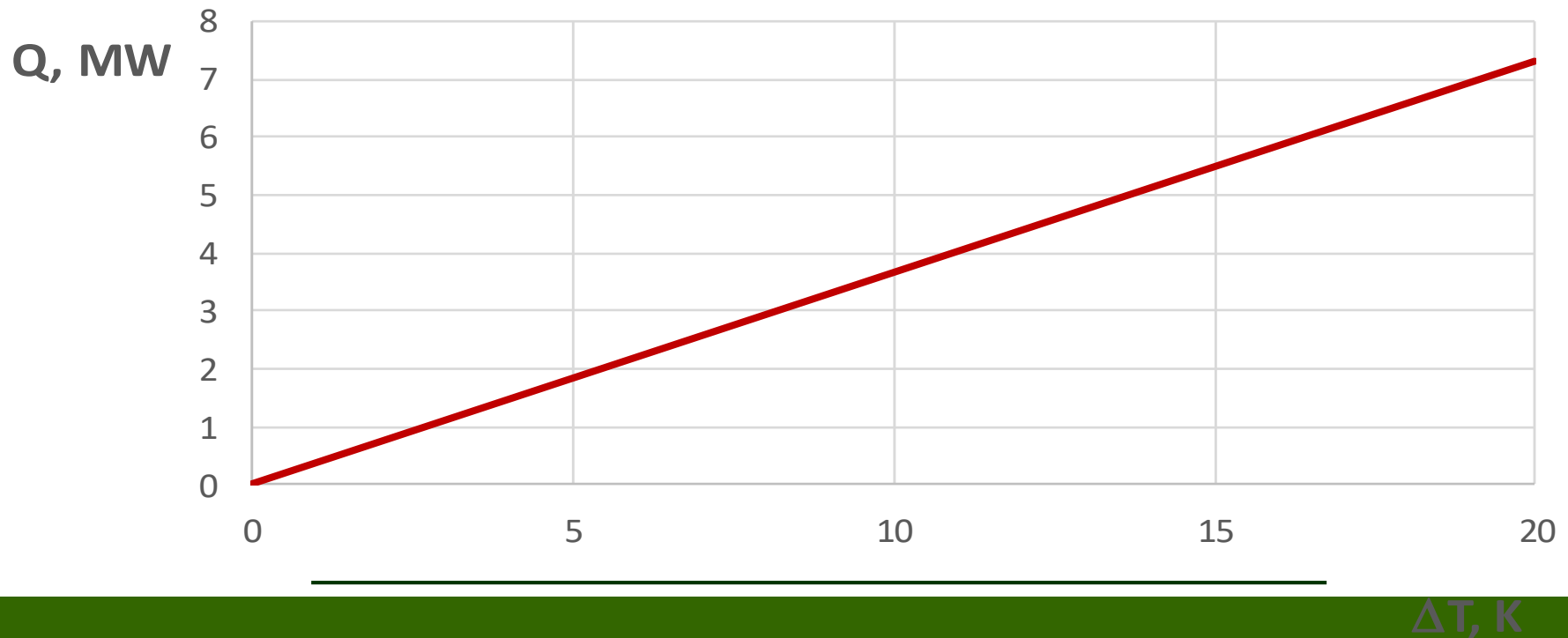
- Temperatura wody geotermalnej – 64°C
- Natężenie przepływu – 320 m³/h
- Temperatura wody ciepłowniczej przed ogrzaniem – 40°C
- Temperatura wody ciepłowniczej po ogrzaniu – 130°C



Parametry wstępne

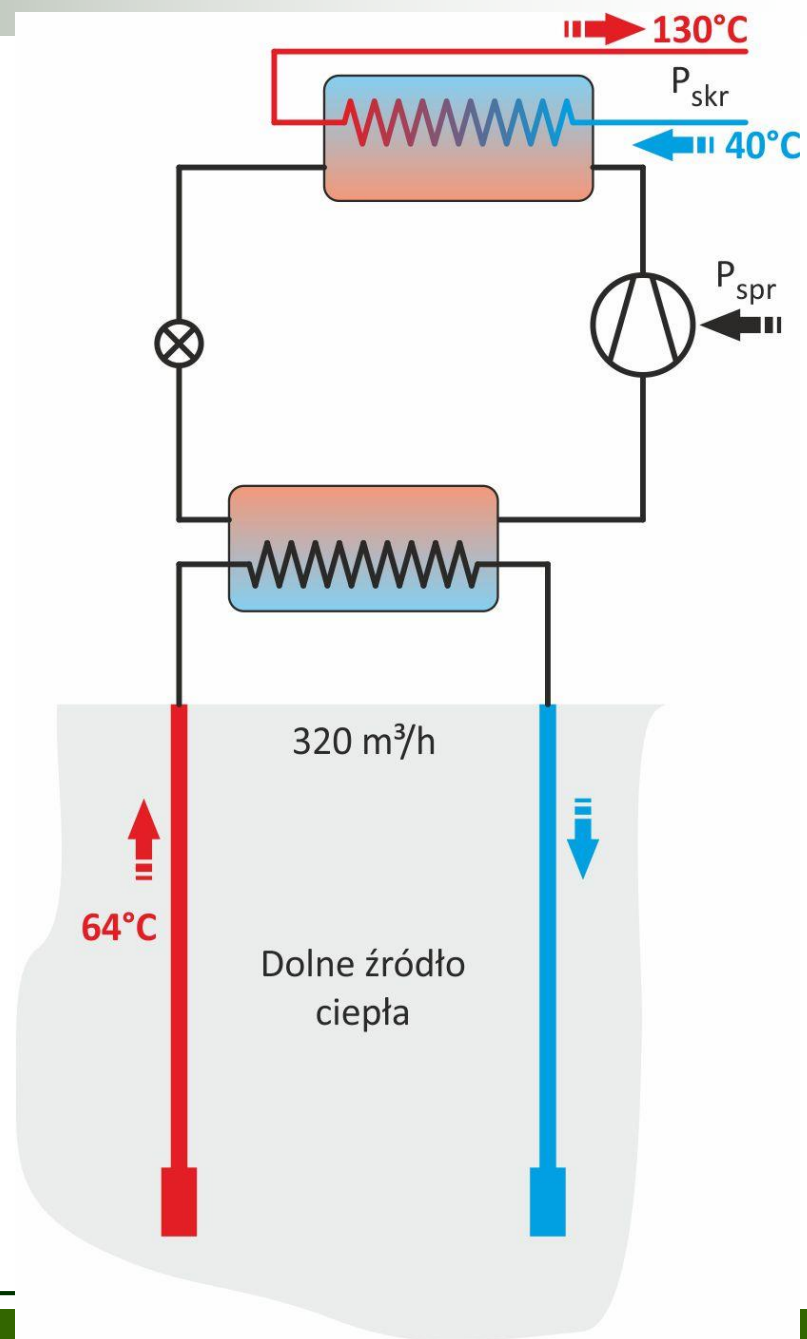


Możliwa do uzyskania moc źródła dolnego zależnie od schłodzenia wody geotermalnej



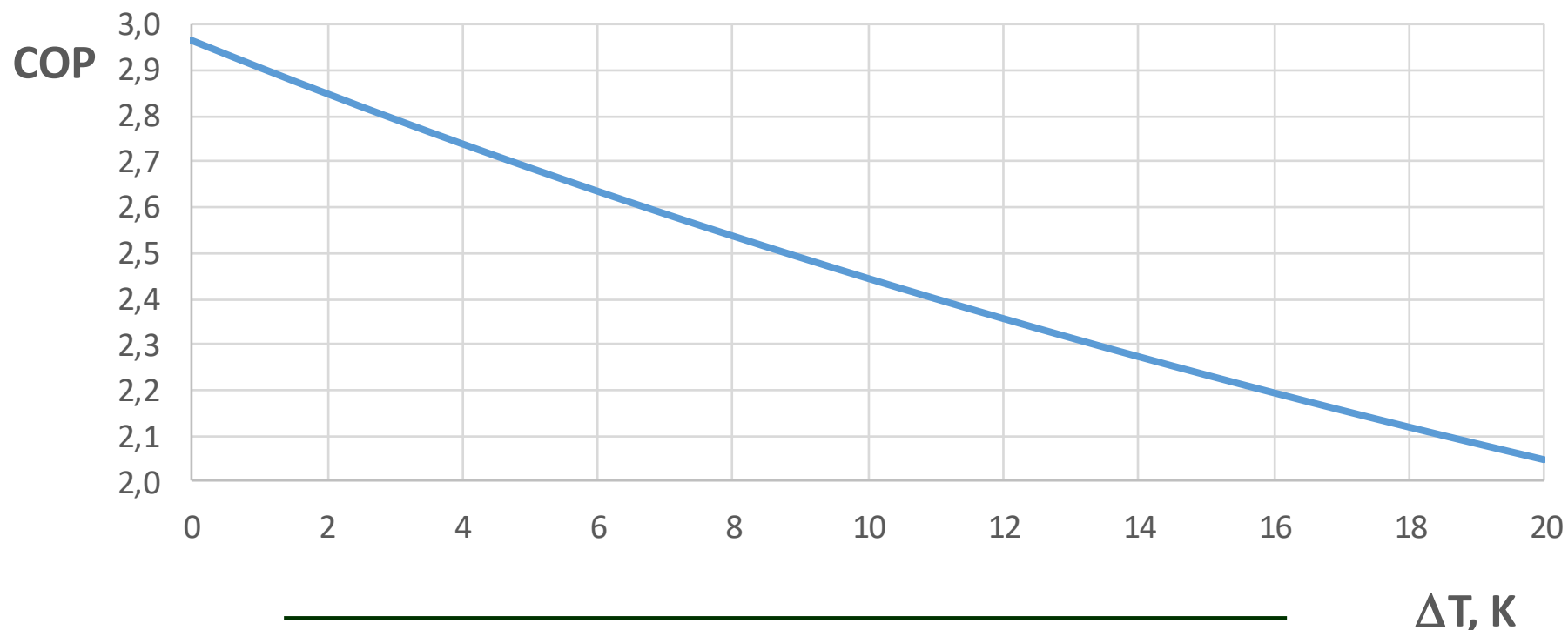
Koncepcja I

- Sprężarkowa pompa ciepła
- Dolne źródło ciepła – woda geotermalna
- Zasilanie elektryczne



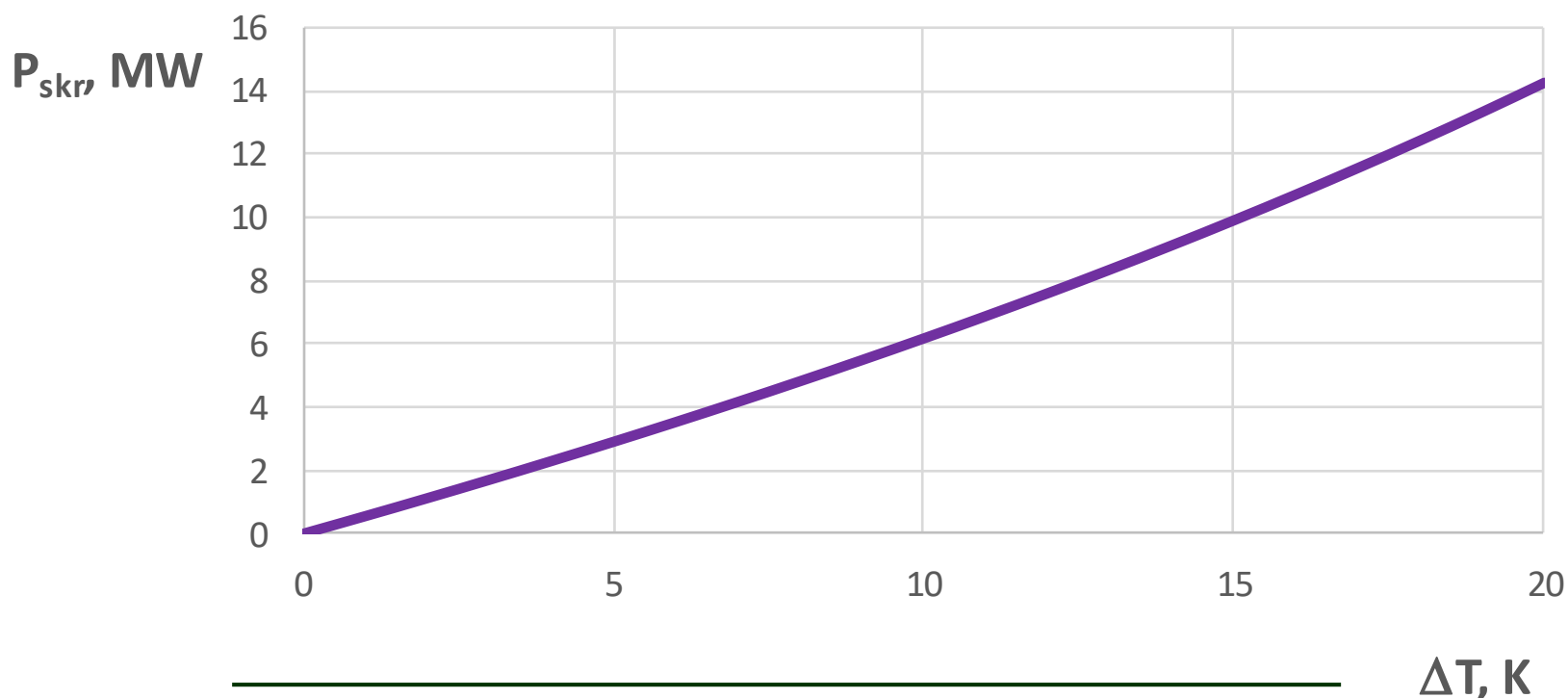
Koncepcja I

Efektywność pompy ciepła zależnie od schłodzenia wody geotermalnej
(R245fa, $t_0 = t_{\text{geo}} - 3\text{K}$, $t_k = 133^\circ\text{C}$)



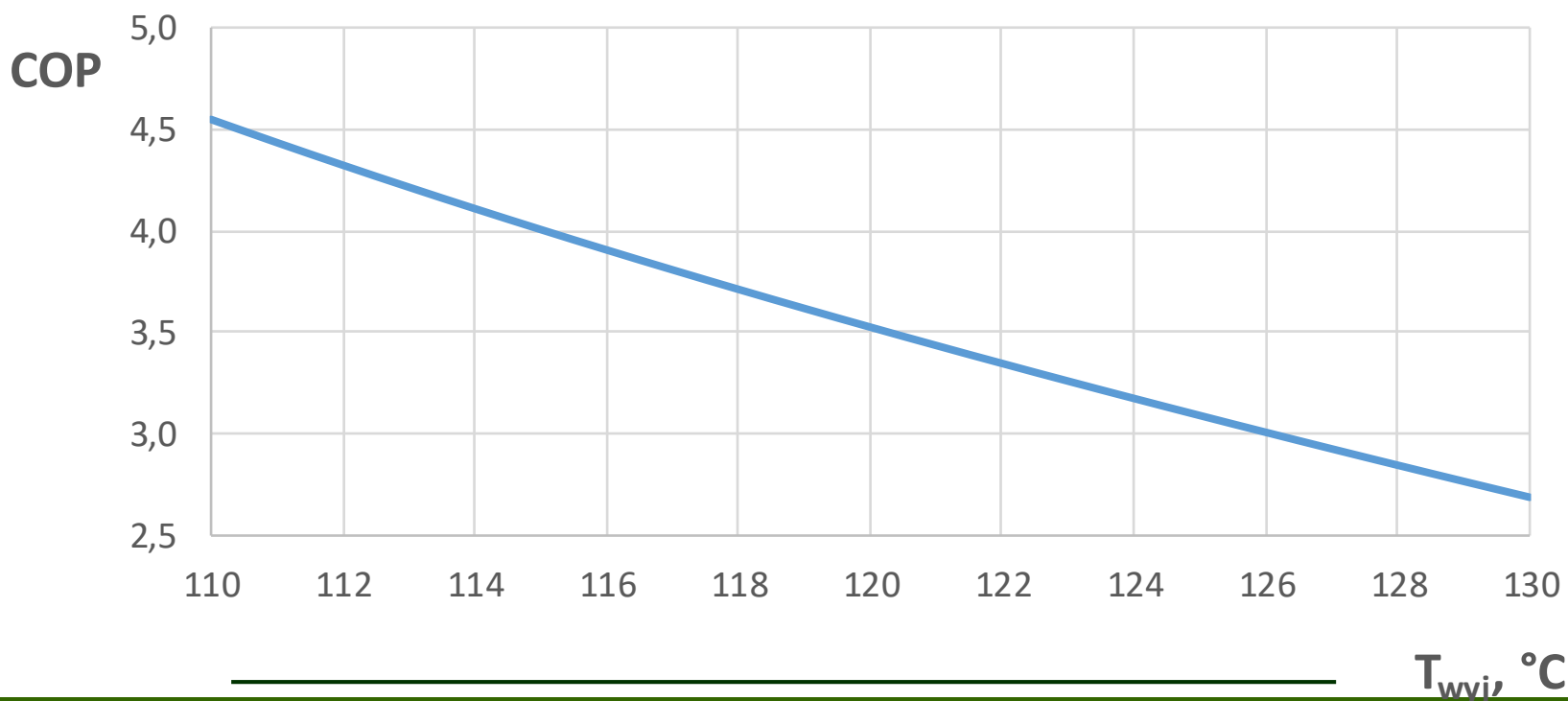
Koncepcja I

Możliwa do uzyskiwania moc pompy ciepła zależnie od schłodzenia wody geotermalnej (R245fa, $t_0=t_{\text{geo}} - 3\text{K}$, $t_k=133^\circ\text{C}$)



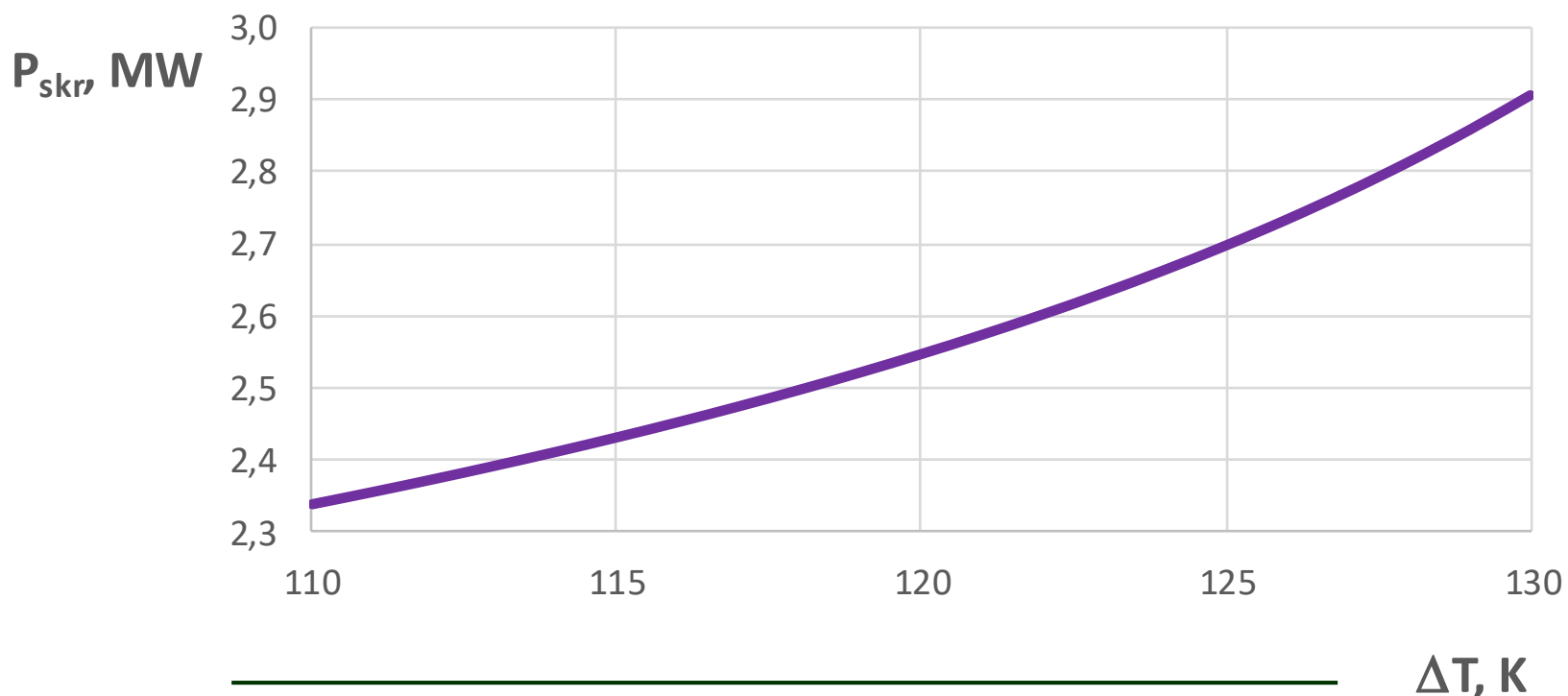
Koncepcja I

Efektywność pompy ciepła zależnie od temperatury wody ogrzanej
(R245fa, $t_0=56^\circ\text{C}$, $t_k=t_{\text{wyj}}+3\text{K}$)



Koncepcja I

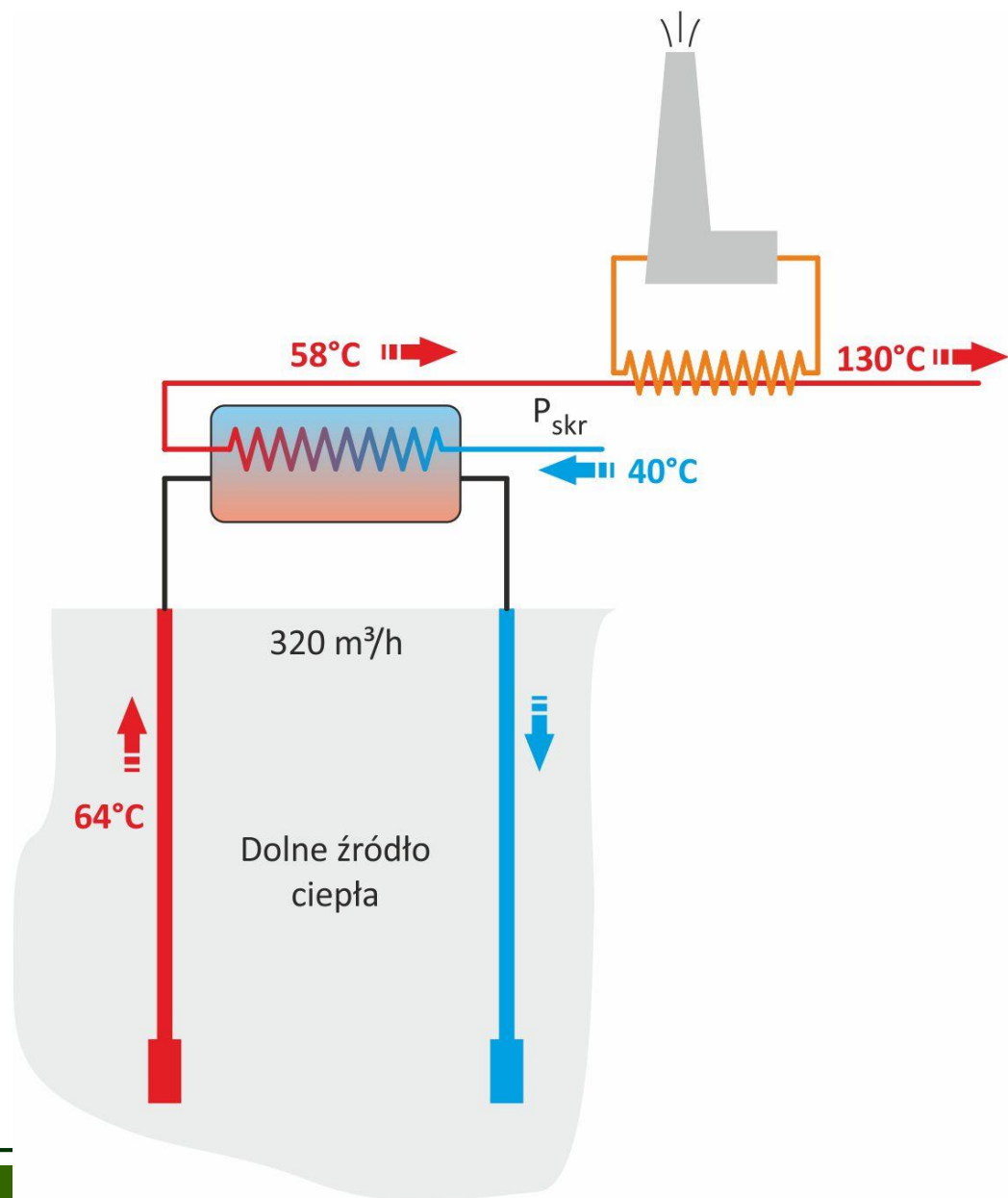
Możliwa do uzyskania moc pompy ciepła zależnie od temperatury wody ogrzanej (R245fa, $t_0=56^\circ\text{C}$, $t_k=t_{\text{wyj}}+3\text{K}$)



Koncepcja II

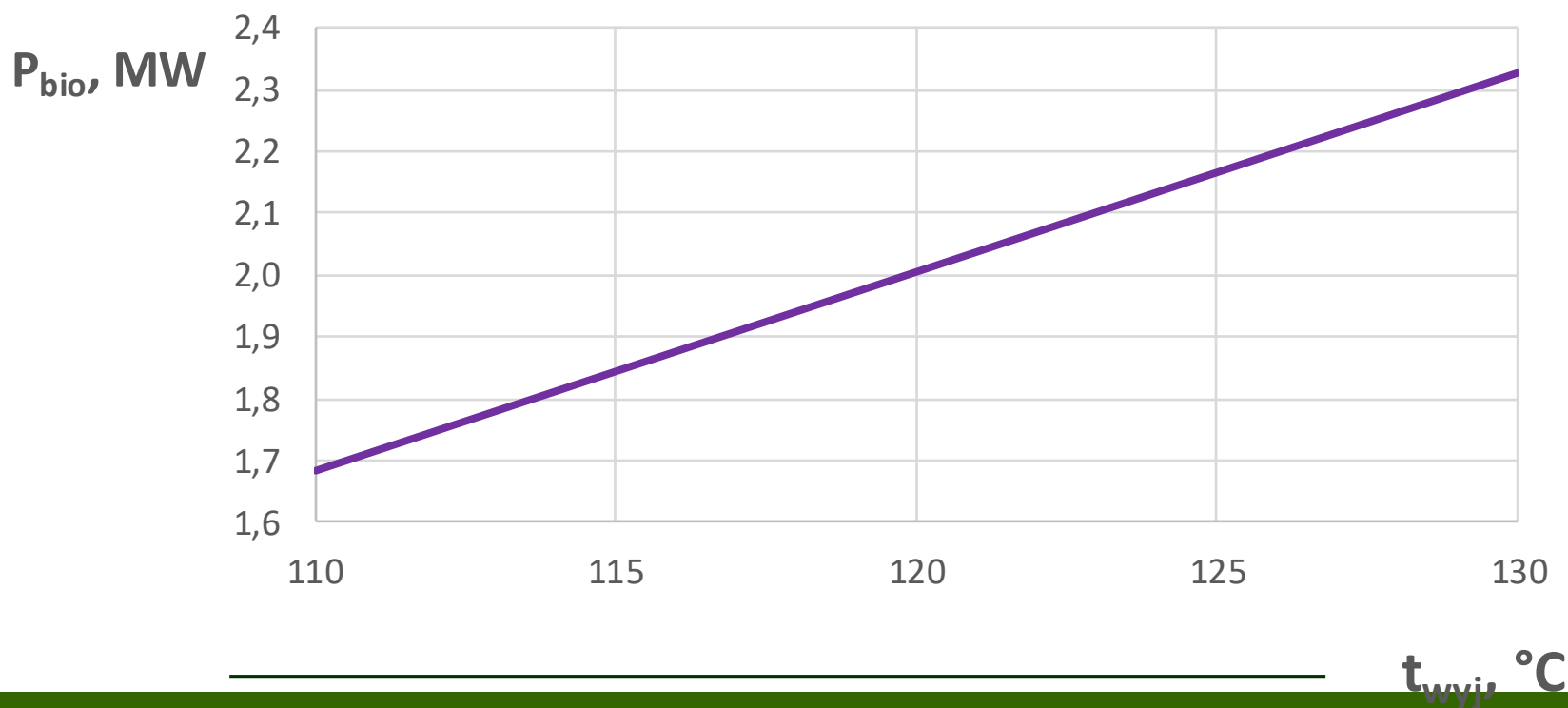
- Wstępne podgrzanie wody z 40°C do 58°C przez wody geotermalne
- Dogrzew wody z 58°C do 130°C realizowany przez kotłownię
- Zasilanie kotłowni: paliwa kopalne lub biomasa

Wymagana maksymalna moc kotłowni
2,328 MW



Koncepcja II

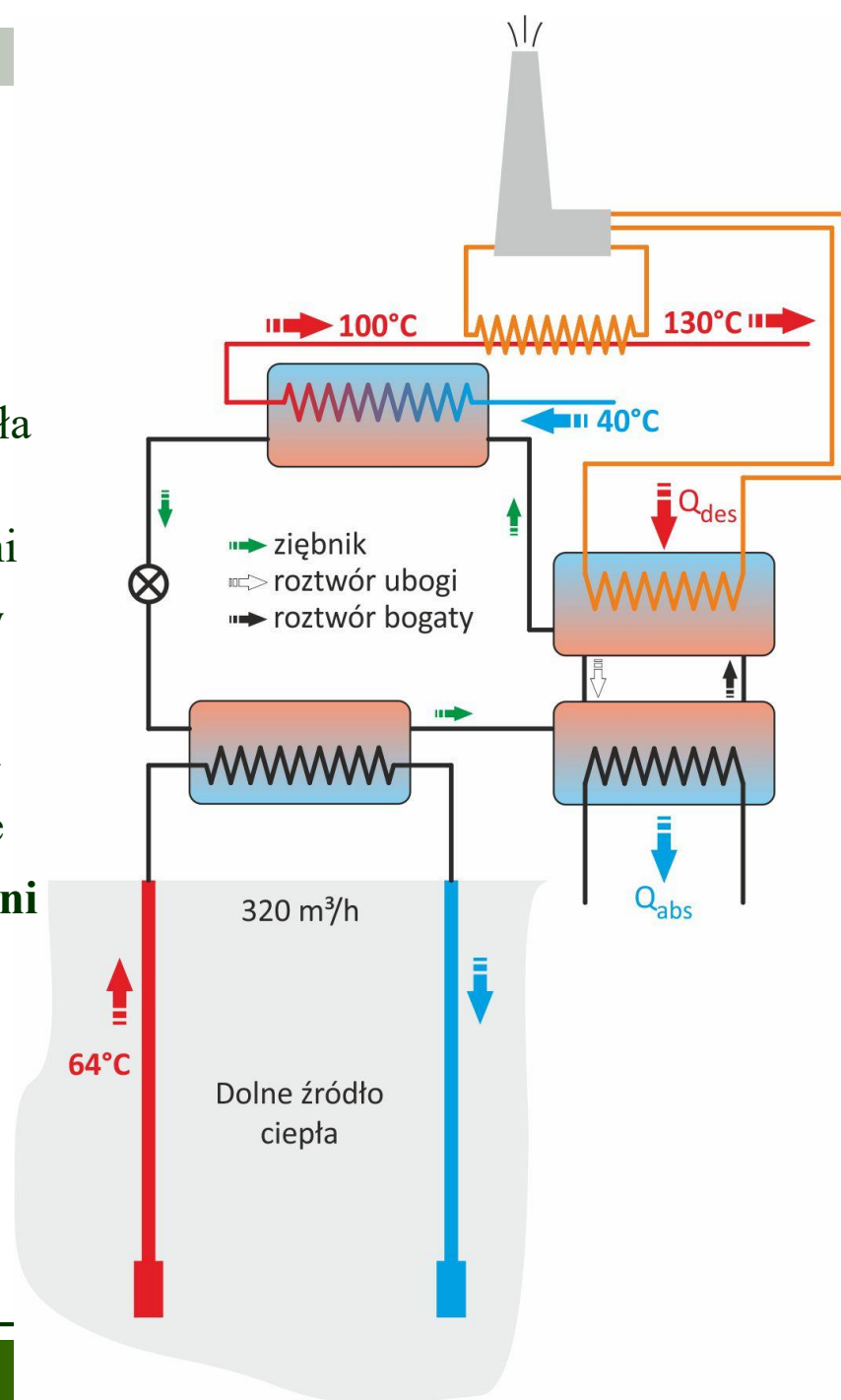
Zmiana mocy grzewczej kotłowni wymaganej do uzyskania strumienia masy 7,728 kg/s wody ogrzewanej od 58°C do t_{wyj}



Koncepcja III

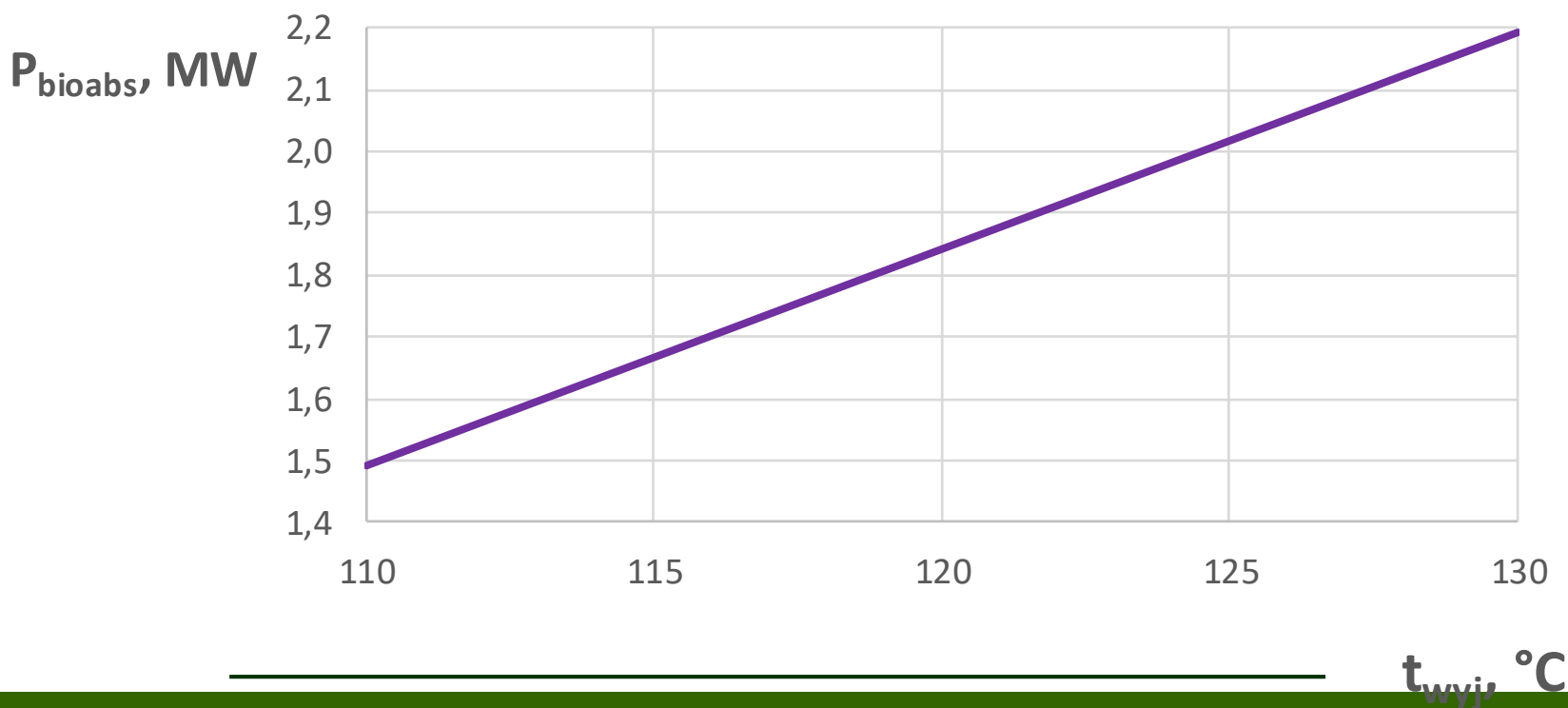
- Wstępne podgrzanie wody z 40°C do 100°C realizowane jest przez absorpcyjną pompę ciepła wykorzystującą wody geotermalne jako dolne źródło ciepła oraz zasilanie desorbera z kotłowni
- Dogrzew wody ze 100°C do 130°C realizowany jest przez kotłownię
- Zasilanie kotłowni: paliwa kopalne lub biomasa
- Chłodzenie desorbera: powietrze atmosferyczne

Wymagana maksymalna całkowita moc kotłowni przy założonym $\text{COP}=1,7$ wynosi $2,192\text{ MW}$



Koncepcja III

Zmiana mocy grzewczej kotłowni wymaganej do uzyskania strumienia masy 7,728 kg/s wody ogrzewanej od 40°C do t_{wyj}



Podsumowanie

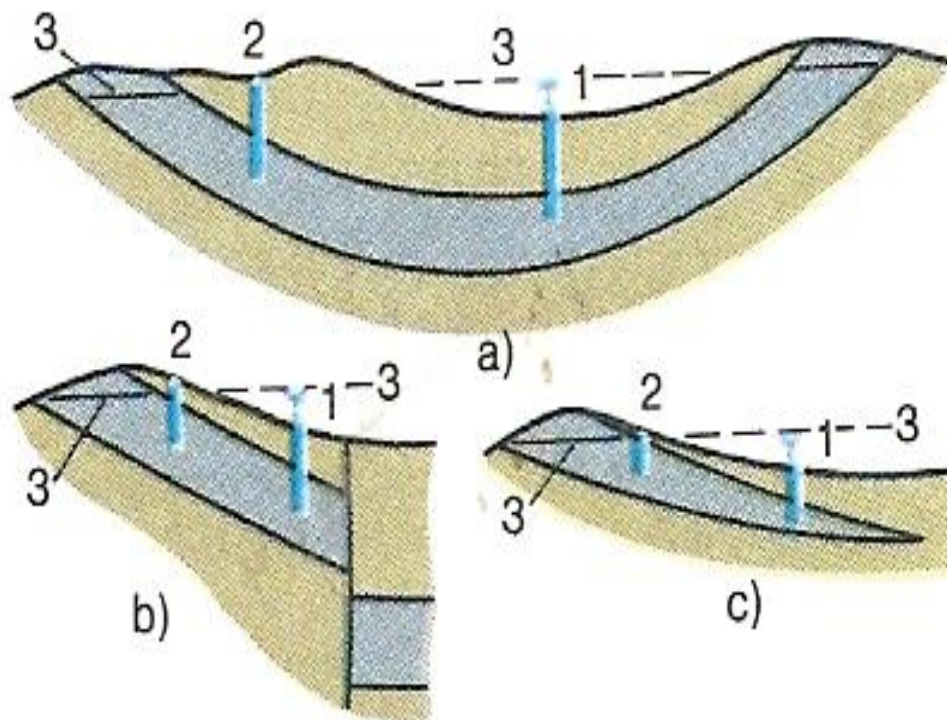


Zapotrzebowanie na energię w MW (elektryczną dla koncepcji I oraz cieplną dla koncepcji II i III) w zależności od temperatury wody wyjściowej

$t_{\text{wyj}}, ^\circ\text{C}$	I	II	III
130	0,679	2,328	2,192
125	0,591	2,166	2,017
120	0,518	2,005	1,841
115	0,455	1,843	1,666
110	0,401	1,681	1,491

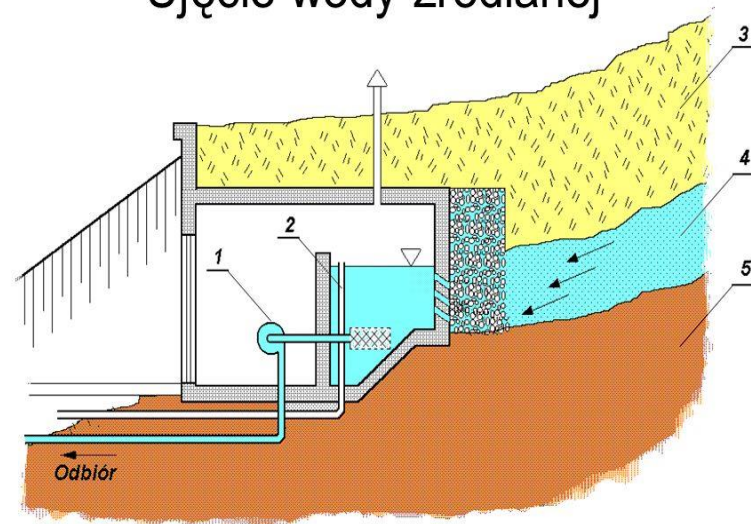
W przedstawionym zapotrzebowaniu nie uwzględniono wymaganych mocy do zasilania pomp i wentylatorów.

Wody artezyjskie



Geologiczne warunki występowania wód artezyjskich: a) warunki artezyjskie utworzone przez synklinę; b) przez uskoki; c) przez wyklinowanie się soczewki; 1 studnie artezyjskie, 2 subartezyjskie, 3 poziomy odpowiadające ciśnieniu hydrostatycznemu.

Ujęcie wody źródlanej

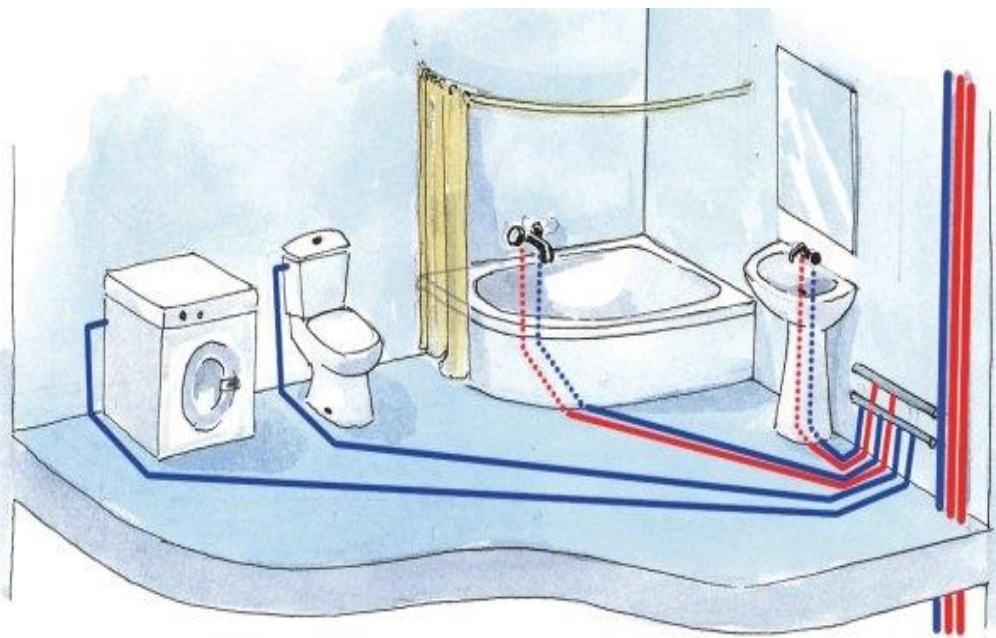


1 - pompa, 2 - przelew, 3 - grunt rodzimy, 4 - warstwa wodonośna, 5 - warstwa nieprzepuszczalna;

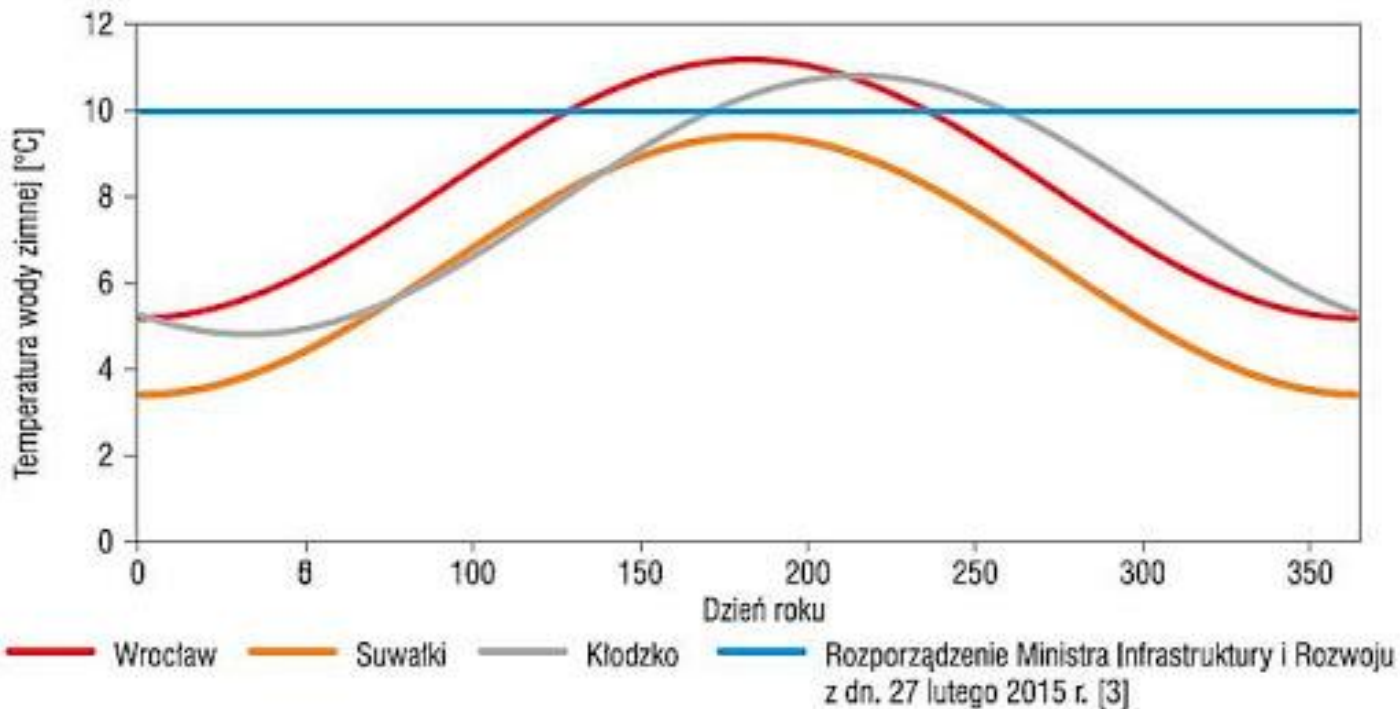


Woda wodociągowa

- Wysoka cena, wysokie koszty eksploatacyjne
 - Wahania temperatury
 - Małe przepływy, małe wydajności.
-
- Niskie koszty inwestycyjne
 - Łatwa dostępność
 - Czystość
 - Małe zapotrzebowanie miejsca na ujęcia




Temperatura wody wodociągowej.



Wykorzystanie ciepła wody z magistrali wodociągowej jako dolnego źródła ciepła w pompie ciepła

- Koncepcja zmodernizowania istniejącego układu i wyposażenia go w pompy ciepła wynika z potrzeby zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych Wydziału Produkcji Wody „JUROWCE”, Białystok.
- Zdecydowano o wykorzystaniu ciepła wody z magistrali wodociągowej o ciśnieniu 2,4 bary i temperaturze ok. 9,5°C jako dolnego źródła ciepła.
- Po przeanalizowaniu różnych wariantów podjęto decyzję o rozwiązaniu biwalentnym - pozostawieniu istniejącej kotłowni olejowej w obecnym kształcie jako kotłowni szczytowo-rezerwowej.

- 
-
- Jako źródło ciepła w układzie zastosowano pompę ciepła typu solanka/woda o mocy grzewczej 150 kW.
 - Dobrano dwustopniową pompę ciepła typu Vitocal 300-G Pro. Pompa ciepła została ustawiona w budynku.
 - Dolnym źródłem ciepła dla pompy ciepła jest woda wodociągowa wypływająca z WPW „Jurówce” o temperaturze 9,5°C i ciśnieniu 2,4 bary w miejscu wpięcia do instalacji.
 - W celu doprowadzenia do wymiennika pośredniego ciepła z wody wodociągowej wykonano wcięcie do magistrali wodociągowej DN 500 mm instalacją \varnothing 125 mm z PE, która doprowadza wodę do wymiennika pośredniego.
 - Woda po przepłynięciu przez wymiennik pośredni dolnego źródła ciepła ulega ochłodzeniu o ok. 3°C i transportowana jest do magistrali wodociągowej wody uzdatnionej.

Temperatura zewnętrzna 14,9°C

Pompa ciepła

Zasobniki
22,6°C
Temp. bufora góra

Temp. obudowy
22,8°C

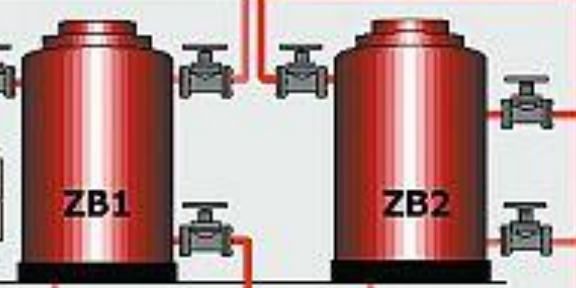
Pompa ciepła

AWARIA

Pompa obiegu skraplacza

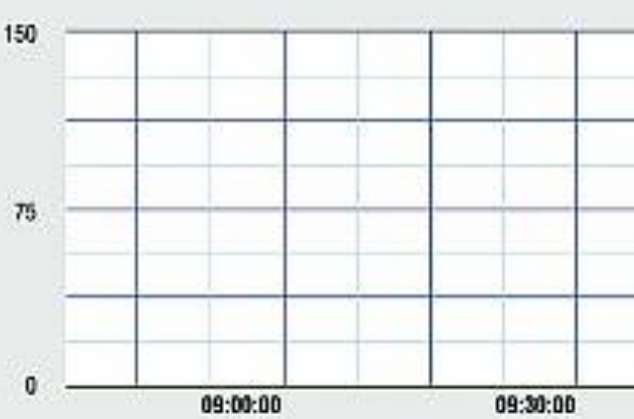
Temp. wyj. 20,92°C
0,21°C
Różnica temp.

Temp. wej. 20,71°C
3522.60 GJ
Licznik energii



- Chłodzenie
- Ogrzewanie
- Uwolnienie
- Uwolnienie stopień 1
- Uwolnienie stopień 2

0,0 m³/h przepływ chwilowy
781959 m³ licznik



- Legenda:
- T_Kotła1
 - T_Powrót1
 - T_Kotła2
 - T_Powrót2



Obieg SUW

- Do układu grzewczego po stronie górnego źródła ciepła włączono pompę ciepła poprzez dwa zbiorniki buforowe o pojemności 1000 l każdy oraz zawór trójdrożny. Bufory w układzie hydraulicznym zapewniają stabilność pracy pompy ciepła.





Fot. 2. Instalacja \varnothing 125 mm z PE do wymiennika pośredniego; fot. archiwum autora (J. Kozicki)

W celu zwiększenia żywotności pompy ciepła w układzie pomiędzy nią a wymiennikiem pośrednim zastosowano glikol propylenowy. Rozwiązanie to wiąże się z brakiem konieczności płukania lub wymiany wymiennika pompy ze zintegrowanym parownikiem w pompie ciepła.