VIESMANN
Akademia

Temat nr 6. Pompy ciepła cz.4

Dolne źródła ciepła

1. **Wymienniki gruntowe – pozyskiwanie ciepła z gruntu**
2. **Pionowe wymienniki ciepła**
3. **Poziome wymienniki ciepła**
4. **Koszowe gruntowe wymienniki ciepła**
5. **Dodatkowe materiały**

Krzysztof Gnyra
tel. 602 231 407
e-mail: kgnyra@gmail.com

1. Wymienniki gruntowe - pozyskiwanie ciepła z gruntu

1.1. Wymienniki gruntowe

Ciepło zawarte w gruncie stanowi tzw. „dolne źródło ciepła" dla pompy ciepła i jest odbierane z gruntu za pomocą wymienników ciepła, najczęściej o konstrukcji rurowej:

- pionowe gruntowe wymienniki ciepła (pionowe GWC; sondy gruntowe; sondy pionowe)
- poziome gruntowe wymienniki ciepła (poziome GWC; kolektory gruntowe)
- koszowe gruntowe wymienniki ciepła (koszowe GWC, klatki energetyczne)

Pionowe GWC:
- pojedyncza U-rura
- podwójna U-rura
- współosiowe (koaksjalne)

Poziome GWC:
- liniowe
- spiralne

Koszowe GWC:
- cylindryczne
- stożkowe

1.2. Wykorzystanie ciepła gruntu

Temperatura gruntu nieobciążonego cieplnie (bez odbierania z niego ciepła):

- w rejonie tzw. **warstwy neutralnej** (h_n - głębokość **od 15 do 25 m**), grunt ma temperaturę zbliżoną do średniej rocznej temperatury powietrza;

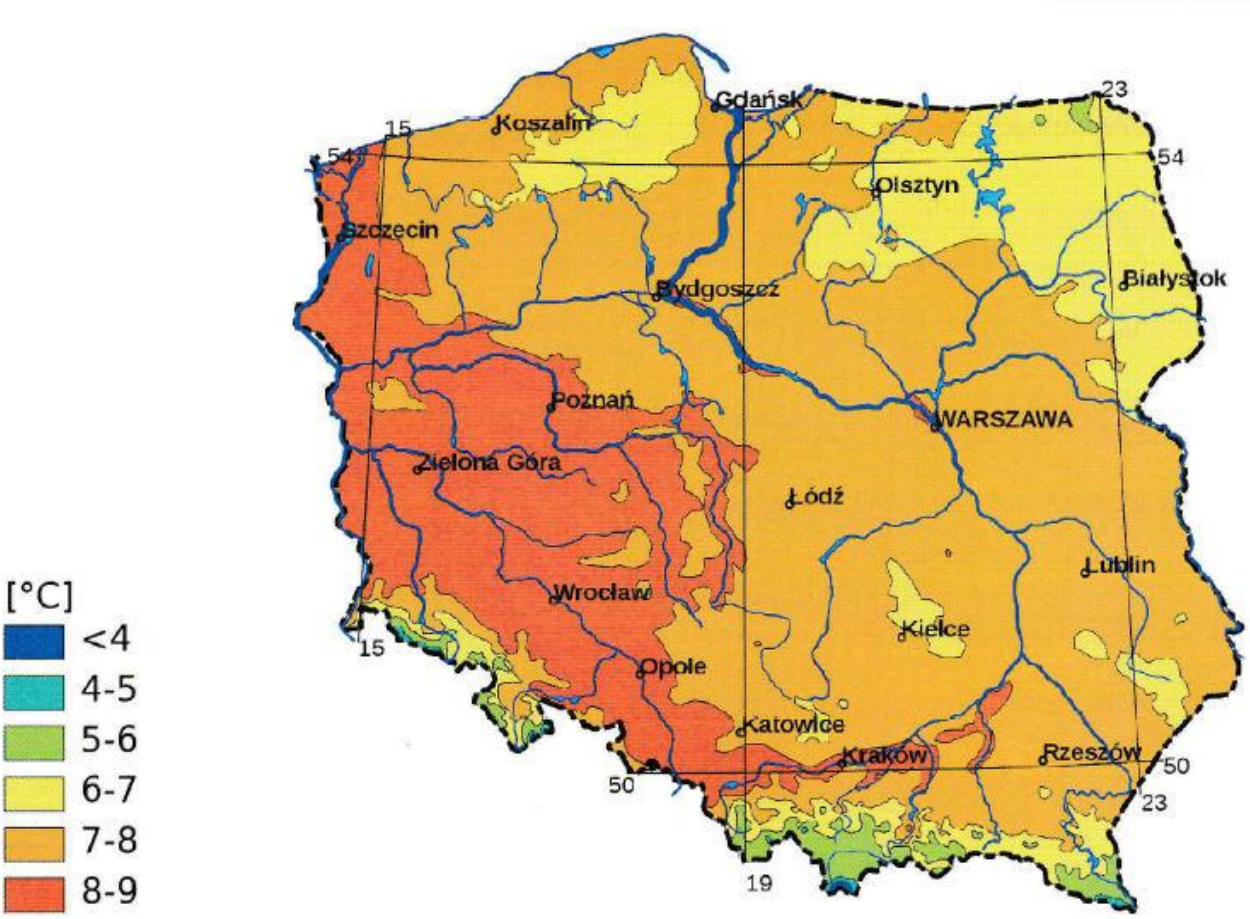
  temperatura gruntu wynika między innymi z oddziaływania: promieniowania słonecznego, wypromieniowania ciepła z gruntu, oraz wpływu ciepła geotermalnego (z wnętrza Ziemi);

  jednak, z powodu małego udziału gęstości strumienia ciepła pochodzącego z wnętrza Ziemi (0,04 do 0,12 W/m2), jego udział w bilansie cieplnym warstw powierzchniowych gruntu jest niewielki – jest praktycznie pomijany;
  duży udział mają natomiast: promieniowanie słoneczne (do ok. 1000 W./m2), opady deszczu, topniejący śnieg, wody gruntowe;

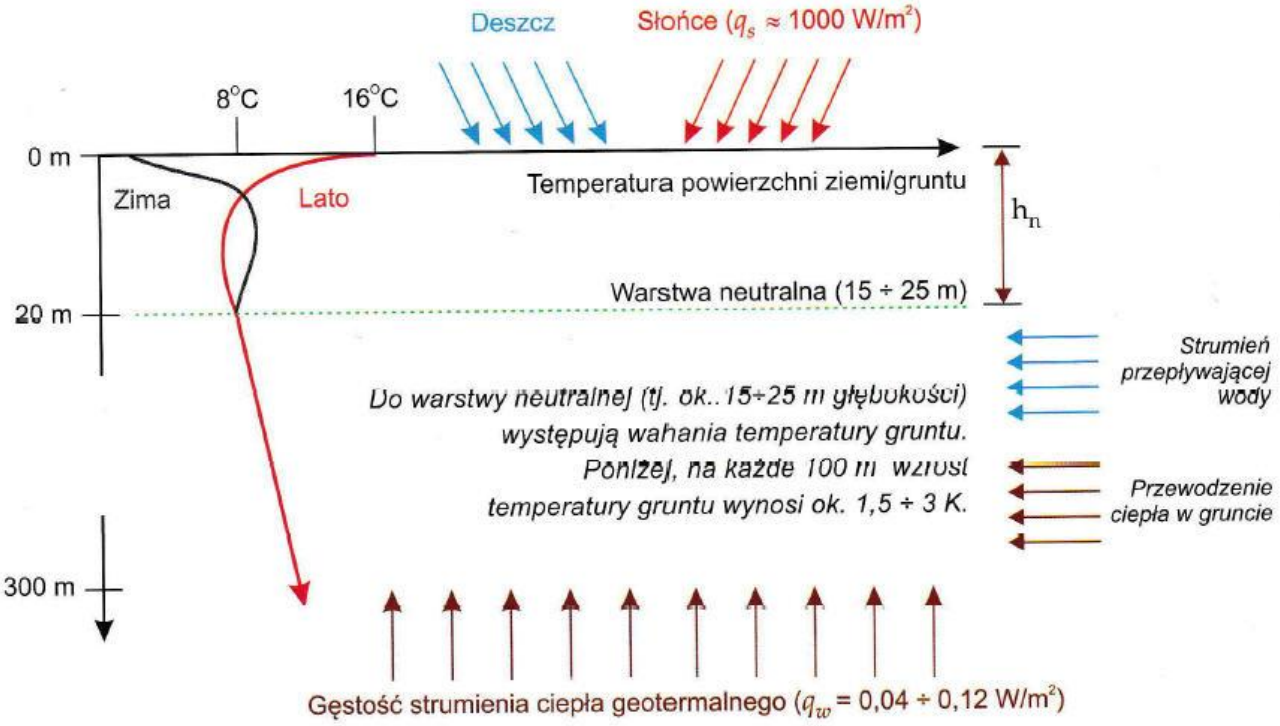
- poniżej warstwy neutralnej, na każde 100 m wzrost temperatury gruntu wynosi od ok. 1,5 do 3 K;
  poniżej głębokości 25 m i do 100 m zwiększa się udział oddziaływania ciepła geotermalnego;
  powyżej 100 m głębokości – podstawowe znaczenie ma oddziaływanie strumienia geotermalnego zawartego w gruncie.

Bilans cieplny gruntu – gdy ciepło jest dostarczane lub odbierane z Ziemi, np. przez pionowy wymiennik gruntowy, to następuje zakłócenie naturalnego stanu jego równowagi cieplnej;

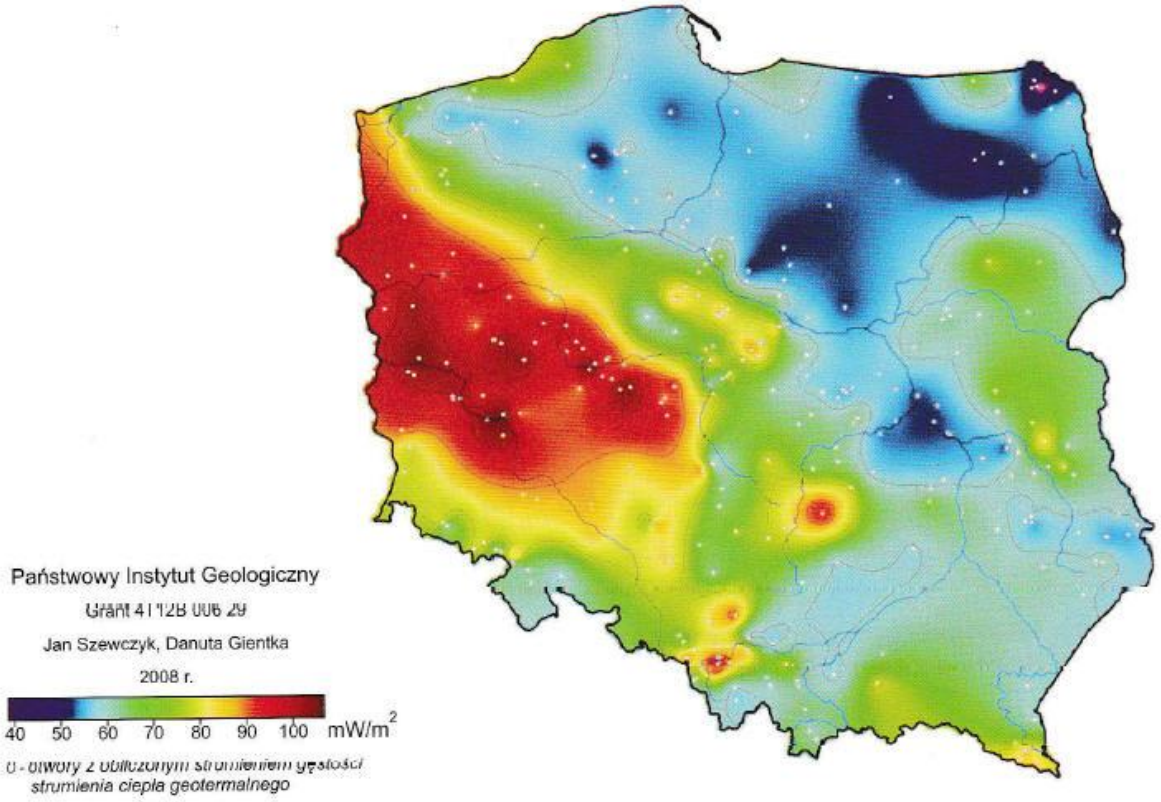
wyrównanie ubytków ciepła gruntu lub odbieranie nadmiaru ciepła przez gruntu, następuje w wymiennikach pionowych poprzez: **przewodzenie** oraz **konwekcję ciepła w gruncie** (wymiana ciepła przez konwekcję polega na przekazywaniu ciepła przez przepływające w gruncie wody podziemne).



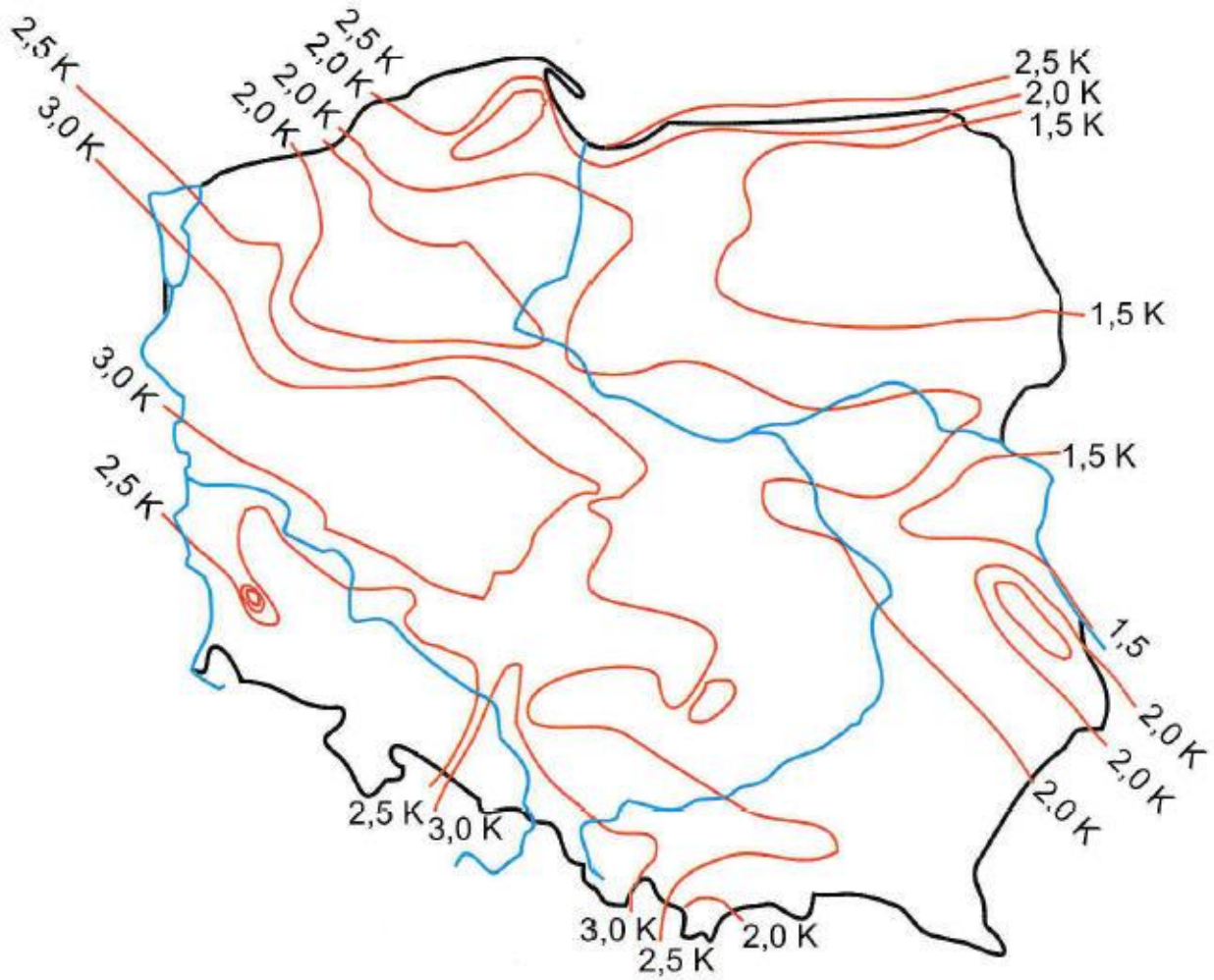
Rys Średnie temperatury powietrza zewnętrznego w Polsce.



Rys. Rozkład temperatury w gruncie nieobciążonym cieplnie.



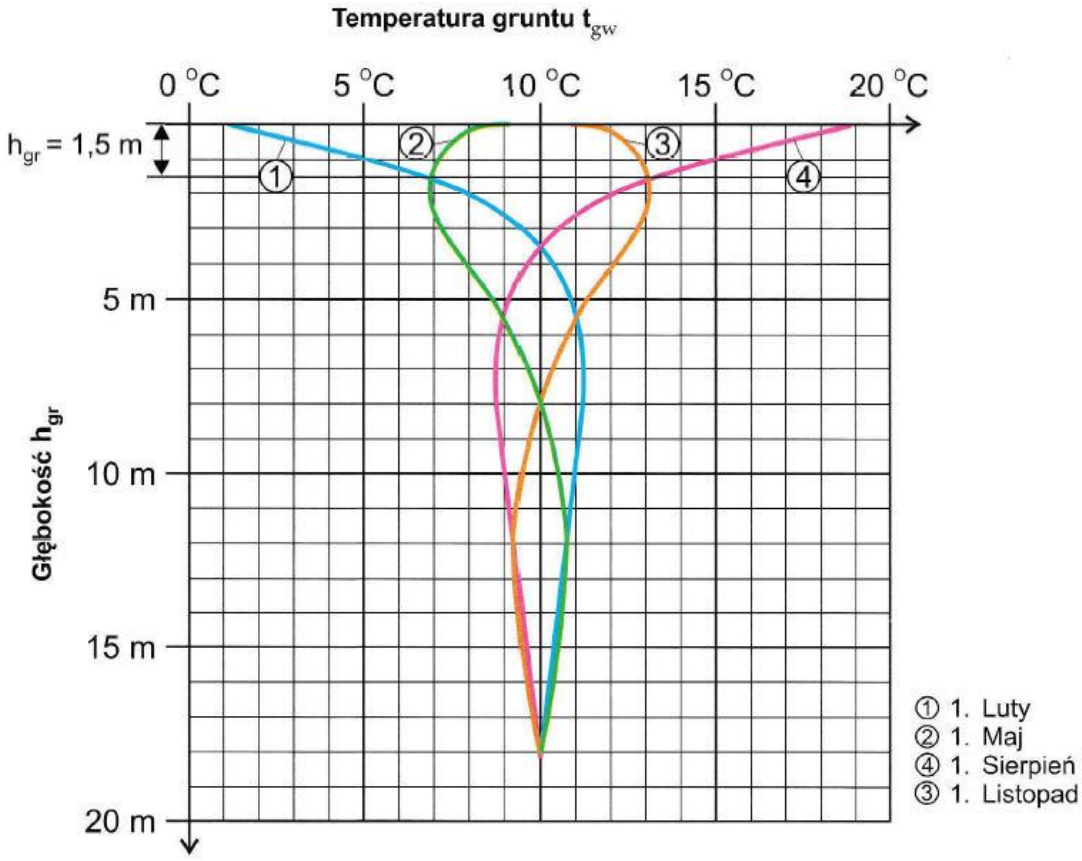
Rys. Mapa gęstości strumienia ciepła geotermalnego w Polsce.



Rys. Gradient temperatury w gruncie – przyrost temp. na różnicy głębokości 100 m.

Temperatura w najwyżej położonej warstwie gruntu zmienia się w zależności od pory roku –
- na głębokości ok. 1,5 m zmienia się od 6 do 13°C.

Po przekroczeniu granicy głębokości zamarzania gruntu wahanie te ulegają zmniejszeniu.



Rys. Przebieg zmian temperatury gruntu w ciągu roku, w zależności od pory roku i głębokości gruntu – bez obciążenie poborem ciepła przez poziomy gruntowy wymiennik ciepła.

Parametry gruntu.
Zdolność gruntu do ustalonego transportowania ciepła zależy od **współczynnika przewodzenia ciepła** gruntu: **λ [W/(m x K)],** oraz, w przypadku nieustalonego transportowania ciepła (stan przejściowy w określonym czasie), od **współczynnika dyfuzyjności cieplnej: α [m2/s]**.
Istotne znaczenie dla transportowania ciepła w gruncie ma również przepływ wody w gruncie, jego wartość zależy od **współczynnika filtracji: v [m/s]** – zdolność przesączania się wody w gruncie.

Współczynnika dyfuzyjności cieplnej: α [m2/s] – przewodnictwo temperaturowe - **określa zdolność do wyrównywania się temperatury w badanym obiekcie – w gruncie**;
jest to stosunek współczynnika przewodzenia ciepła gruntu **λ,** do pojemności cieplnej gruntu C na jednostkę objętości;

Pojemność cieplna gruntu **C [J / (m3 K)]** – jest to ilość ciepła jaką trzeba dostarczyć do gruntu (lub odebrać), aby jego temperatura wzrosła/obniżyła się o 1 K.

Wydajność cieplna gruntu

- jeśli wymiennik będzie zbyt mały (nie zapewni pobrania z gruntu odpowiedniej ilości ciepła), to przy długotrwałej pracy pompy ciepła w trybie pełnego obciążenia, może dojść do znacznego obniżenia temperatury gruntu w obszarze pionowego GWC jak również poziomego GWC;

  może to skutkować osiągnięciem dolnej granicy temperatury solanki i zablokowanie pracy pompy ciepła;

  dodatkowo, zbyt duże obciążenie GWC może spowodować długotrwałe obniżenie temperatury solanki w kolejnych okresach grzewczych – z powodu braku wystarczającej regeneracji cieplnej gruntu (dotyczy to pionowych jak i poziomych GWC)

- okresowe zamarzniecie gruntu wokół rur poziomego GWC, najczęściej w drugiej połowie okresu grzewczego, nie wpływa negatywnie na pracę instalacji grzewczej, ani też na wegetację roślin;

  regeneracja cieplna gruntu następuje już w drugiej połowie okresu grzewczego dzięki rosnącemu natężeniu promieniowania słonecznego oraz opadom atmosferycznym, w związku z tym wymiennik gruntowy gromadzi zapas ciepła („ładuje się"), które będzie do dyspozycji w następnym okresie grzewczym

Zbyt mały poziomy GWC (np. zbyt mała powierzchnia działki) oraz długa praca pompy ciepła w trybie pełnego obciążenia, może spowodować kilkutygodniowe opóźnienie okresu wegetacji roślin.

Gdy **poziomy GWC jest właściwie zwymiarowany**, występuje tylko nieznaczne opóźnienie procesu wegetacji roślin, które w praktyce jest pomijane.

Prędkość i opory przepływu w rurach wymiennika gruntowego

Zalecana prędkość przepływu w_{cn} solanki w rurach wymiennika gruntowego i w rurach doprowadzających: **od 0,3 do 1,5 m/s**.

Jednostkowe opory przepływu R_{cn} powinny zawierać się w przedziale: **od 50 do 300 Pa/m**.

Tabele doboru średnic rur doprowadzających typu HDPE i PE-X do transportu solanki, tj. wodnego roztworu glikolu propylenowego i etylenowego.

Glikol propylenowy ok. 33% (temperatura krystalizacji -15 °C)

Moc grzewcza wg PN EN 14511 Q_c [kW]	Moc chłodnicza z COP=4 B0W35 Q_o [kW]	Przepływ obj. dla ΔT=3K V_{cn} [m³/h]	Rura PN 16 HDPE100/PE-X d_n x g [mm]	Średnica wewnętrzna d_w [mm]	Jendostk. opory przepływu R_{cn} [Pa/m]]	Prędkość przepływu w_{cn} [m/s]
5	3,8	1,15	32 x 2,9	26,2	290	0,59
10	7,5	2,31	40 x 3,7	32,6	296	0,77
15	11,3	3,46	50 x 4,6	40,8	287	0,74
20	15,0	4,61	63 x 5,8	51,4	158	0,62
30	22,5	6,93	63 x 5,8	51,4	317	0,93
40	30,0	9,23	75 x 6,8	61,4	224	0,87
50	37,5	11,54	75 x 6,8	61,4	330	1,08

Glikol etylenowy ok. 30% (temperatura krystalizacji -15 °C)

Moc grzewcza wg PN EN 14511 Q_c [kW]	Moc chłodnicza z COP=4 B0W35 Q_o [kW]	Przepływ obj. dla ΔT=3K V_{cn} [m³/h]	Rura PN 16 HDPE100/PE-X d_n x g [mm]	Średnica wewnętrzna rury d_w [mm]	Jendostk. opory przepływu R_{cn} [Pa/m]]	Prędkość przepływu w_{cn} [m/s]
5	3,8	1,19	32 x 2,9	26,2	230	0,61
10	7,5	2,39	40 x 3,7	32,6	250	0,80
15	11,3	3,60	50 x 4,6	40,8	250	0,77
20	15,0	4,77	63 x 5,8	51,4	140	0,64
30	22,5	7,16	63 x 5,8	51,4	280	0,96
40	30,0	9,54	75 x 6,8	61,4	200	0,90
50	37,5	11,93	75 x 6,8	61,4	290	1,12

2. Pionowe gruntowe wymienniki ciepła

2.1. Akty prawne

Pionowe wymienniki pobierające ciepło z gruntu podlegają następującym aktom prawnym:

- Prawo wodne (Dz.U. 2012 nr 0 poz. 145 z późniejszymi zmianami)
- Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2011 nr 163 poz. 981 z późniejszymi zmianami)
- Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2008 nr 25 poz. 150 z późniejszymi zmianami)
- Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. 2012 poz. 647 z późniejszymi zmianami)
- Prawo budowlane (Dz.U. nr 243 poz. 1623 z późniejszymi zmianami)
- Ustawa o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1227 z późniejszymi zmianami)

Do 30 m
Zgodnie z Prawem geologicznym i górniczym,
do wykonywania wykopów oraz otworów wiertniczych o głębokości do 30 m w celu wykorzystania ciepła Ziemi, **nie jest wymagany projekt** – pod warunkiem, że prace nie będą prowadzone na obszarach górniczych.

Do 100 m
Wykonanie otworów wiertniczych o głębokości do 100 m w celu umieszczenia w nich pionowych GWC, jest tzw. robotą geologiczną i podlega Prawu geologicznemu i górniczemu – **wymagany jest projekt robót geologicznych (PRG)**.

Przepisów o planach ruchu zakładu górniczego (PRZG), nie stosuje się do wykonania robót geologicznych związanych z wykorzystaniem ciepłą z Ziemi o głębokości do 100 m –
- z wyjątkiem obszarów górniczych.

> 100 m
W każdym przypadku wymagany jest projekt robót geologicznych (PRG) i Plan ruchu zakładu górniczego (PRZG).

h_w [m] głębokość otworu wiertniczego	PRG projekt robót geologicznych	PRZG plan ruchu zakładu górniczego
≤ 30 (poza obszarem górniczym)	NIE	NIE
≤ 30 (na obszarze górniczym)	TAK	NIE
≤ 100 (poza obszarem górniczym)	TAK	NIE
≤ 100 (na obszarze górniczym)	TAK	TAK
> 100 (niezależnie od obszaru)	TAK	TAK

Tab. Wymagania odnośnie Projektu robót geologicznych i Planu ruchu zakładu górniczego, w zależności od głębokości otworu wiertniczego hw oraz od rodzaju obszaru.

2.2. Procedury i etapy wykonania pionowego GWC

1. Opracowanie projektu robót geologicznych (PRG) i PRZG jeśli jest wymagany.
   Zakres opracowania dokumentacji wykonania robót geologicznych określa Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 grudnia 2011 Dz.U. nr 282 poz. 1656 w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących innych dokumentacji geologicznych.
   Kwalifikacje osób wykonujących dokumentacje określa art. 57 Prawa geologicznego i górniczego

2. Zgłoszenie projektu i zawiadomienie o przystąpieniu do robót określonych w PRG (robót wiertniczych).
   Projekt robót geologicznych podlega zgłoszeniu staroście (zgodnie z art. 85 Prawa geologicznego i górniczego.
   Rozpoczęcie robót geologicznych może nastąpić jeśli w terminie 30 dni od dnia przedłożenia projektu robót geologicznych starosta, w drodze decyzji, nie zgłosi do niego sprzeciwu

3. Przeprowadzenie właściwych prac wiertniczych

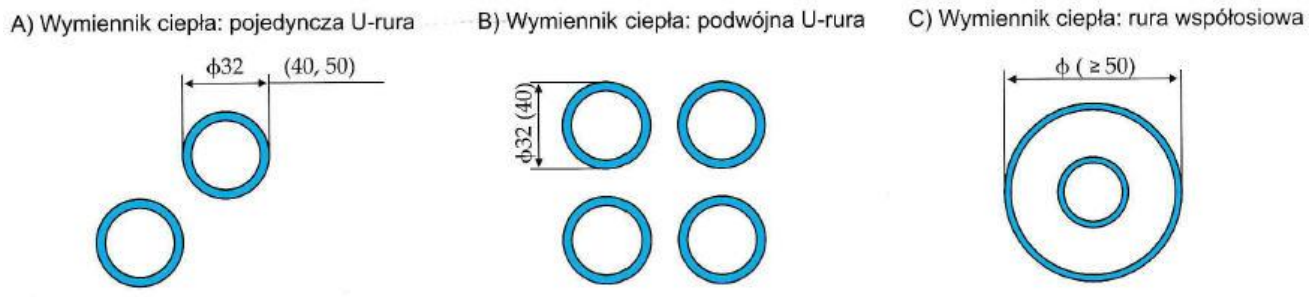
4. Sporządzenie dokumentacji powykonawczej i przekazanie jej do właściwego organu administracji geologicznej.
   Wyniki prac geologicznych wraz z ich interpretacją, określeniem stopnia zamierzonego celu wraz z uzasadnieniem przedstawia się w dokumentacji geologicznej powykonawczej.

2.3. Rodzaje pionowych wymienników gruntowych

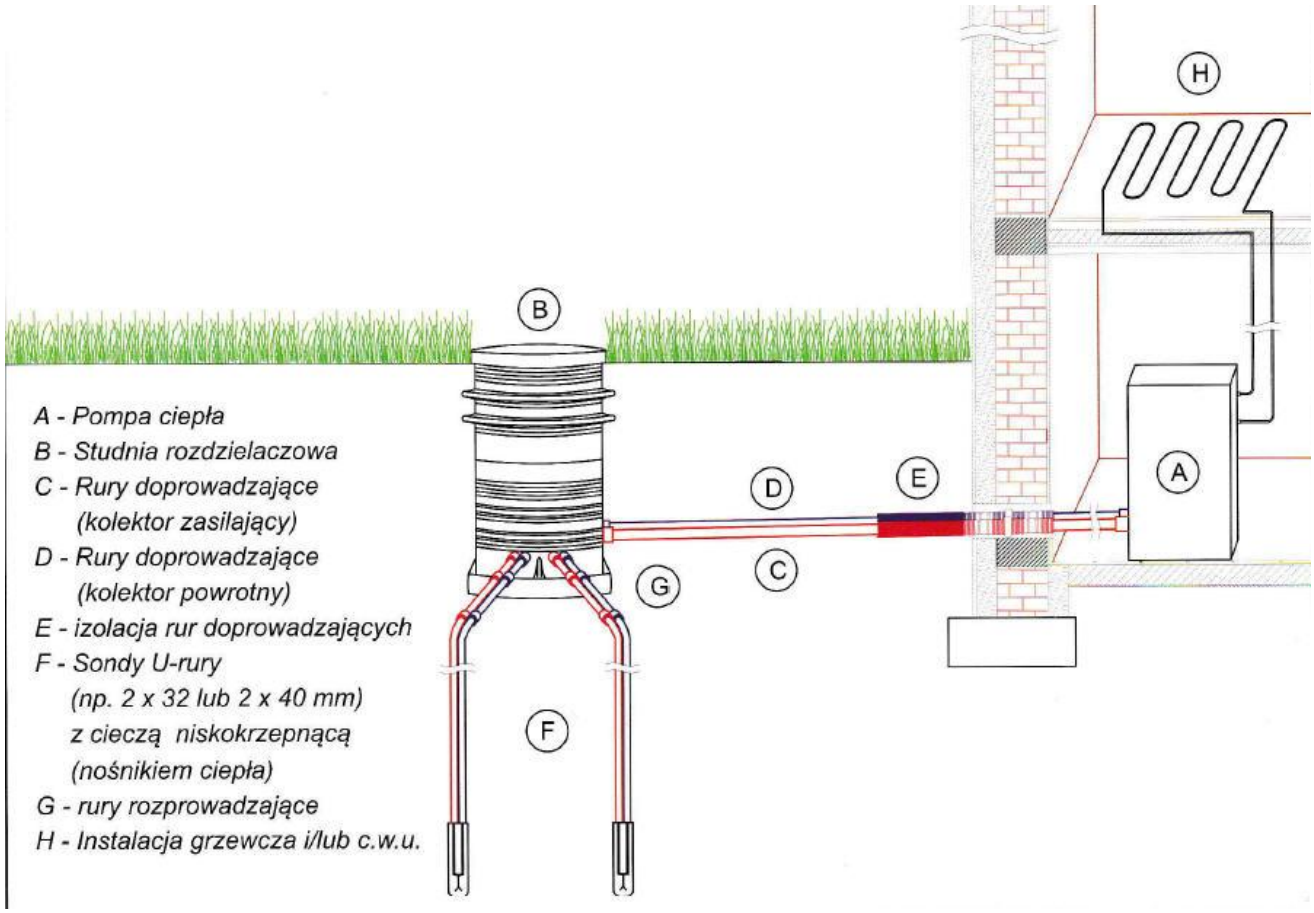
Pionowe wymienniki gruntowe:

- w postaci pojedynczego wymiennika – tzw. pojedyncza U-rura o średnicy zewnętrznej rury 32, 40 i 50 mm
- w postaci podwójnego wymiennika – tzw. podwójnej U-rury o średnicy zewnętrznej 32 i 40 mm
- w postaci dwóch rur współosiowych – tzw. koaksjalnych o średnicach: 63/32, 50/25 mm

Rury wymiennika mogą mieć wewnętrzną powierzchnię gładką lub profilowaną.



Rys. Przekrój poprzeczny typowych, pionowych gruntowych wymienników ciepła.



Rys. Schemat instalacji pompy ciepła z pionowym gruntowym wymiennikiem ciepła z pojedynczą U-rurą.

2.4. Aspekty doboru pionowego GWC dla PC o mocy grzewczej ≤ 30 kW

Projektując instalację pionowego GWC należy wykorzystując programy komputerowe uwzględnić dwa przypadki pracy:

- **krótkotrwały intensywny pobór ciepła z gruntu**, np.: ciągła praca PC przez 48 godzin z mocą znamionową warunkach obliczeniowych i z maksymalnym odbiorem ciepła z gruntu
- **długotrwały pobór ciepła z gruntu**, np.: ciągła praca pompy ciepła z założonym średnim miesięcznym odbiorem ciepła z gruntu.

W obu przypadkach należy:

- zapewnić aby parametry pracy nie przekroczyły granicznych wartości wynikających, z np. minimalnej temperatury odparowania czynnika roboczego w pompie ciepła (minimalna temperatura solanki), lub maksymalnego dopuszczalnego schłodzenia gruntu
- uwzględnić możliwość pogorszenia się zdolności do regeneracji gruntu przy osiągnięciu temperatury gruntu w kontakcie z pionowym GWC poniżej 0°C.

Dobór pionowego GWC

Szacunkowo – dla wykonania wstępnego projektu lub szacunkowej oferty instalacji z pompą ciepła:

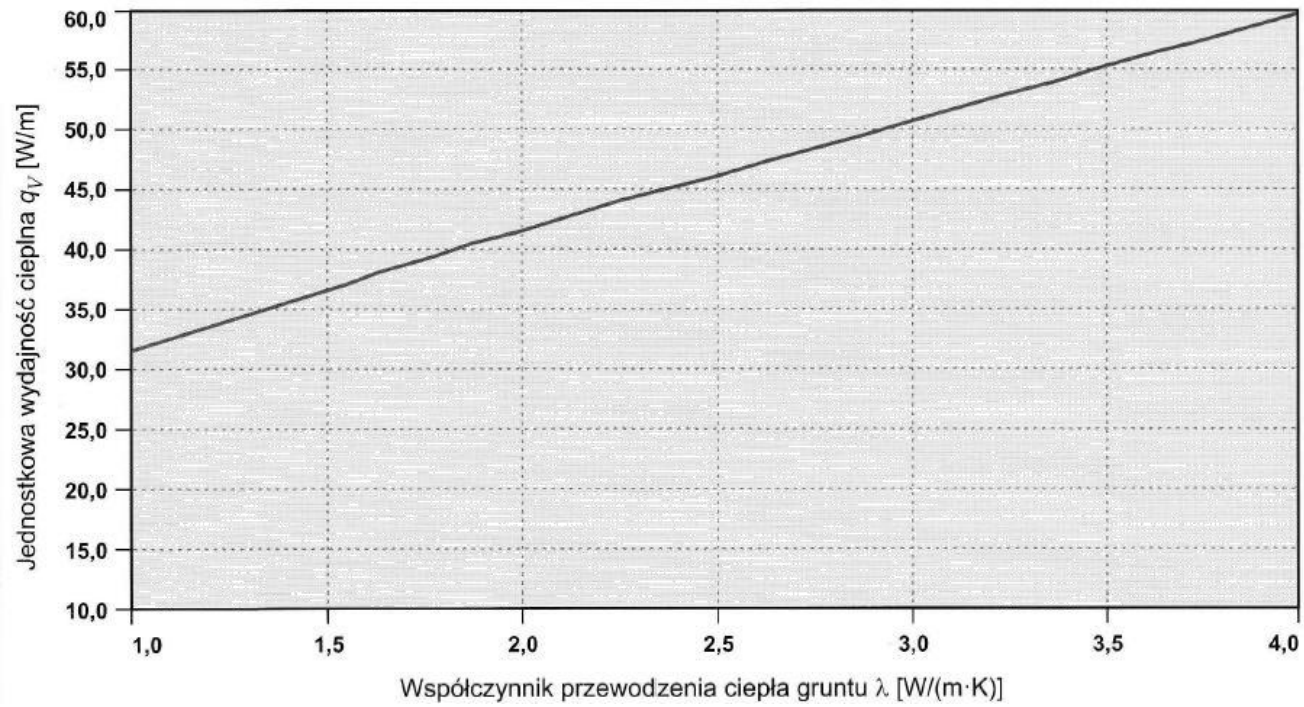
- w nominalnych warunkach jej pracy, np.: B0/W35
- przy czasie pracy pompy ciepła – sprężarki, z pełnym obciążeniem: **2000 h/rok**
- przy braku pełnego rozpoznania geologicznego gruntu,

można przyjmować jednostkową wydajność cieplną gruntu **qv** (pionowego GWC), nie większą niż **40 W/m (qv < 40 W/m)**.

Jednostkowa wydajność cieplna gruntu **qv** – często potocznie nazywana jest **mocą chłodniczą pobieraną z gruntu**.

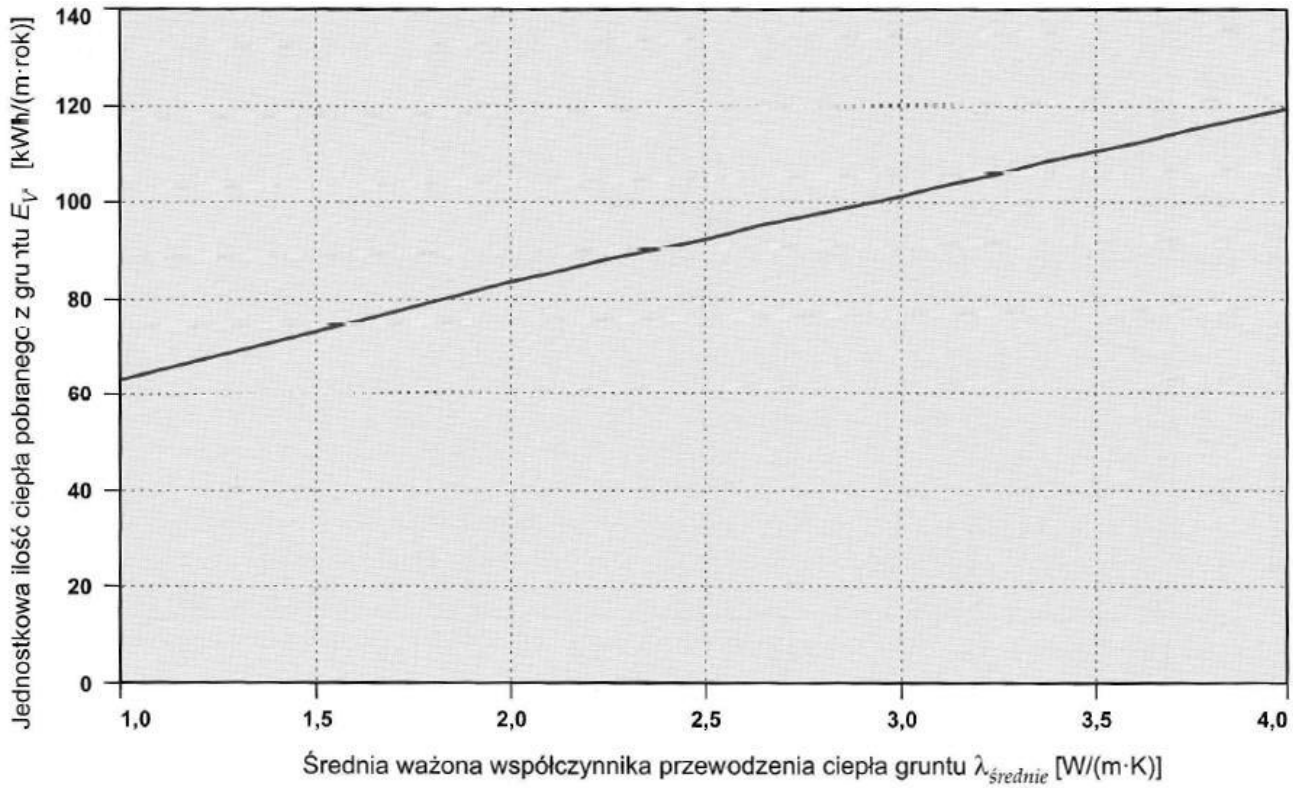
Szacowana (przyjmowana) wartość ilości ciepła pobieranego z gruntu **Ev** nie powinna wynosić więcej niż **80 kWh / (m x rok) – (Ev < 80 kWh/(m x rok)).**
[40 W/m x 2000 h/rok = 80 000 Wh/(m x rok) = 80 kWh/(m x rok)]

Dokładnie – określenie jednostkowej wydajności cieplnej gruntu **qv** (pionowego GWC), na podstawie rozpoznania geologicznego (z map geologicznych) obliczenie średniej wartości współczynnika przewodności cieplnej gruntu **λ** jako **średniej ważonej** odniesionej do różnych warstw gruntu, w których wymiennik zostanie zabudowany.



Rys. Zależność między jednostkową wydajnością cieplną pionowego GWC qv a współczynnikiem przewodzenia ciepła gruntu λ, przy założonym czasie pracy sprężarki pompy ciepła Tsp = 2000 h/rok.

Sprawdzenie ilości ciepła pobranego z gruntu **Ev** dla **λśrednia** (jako średnia ważona):



Rys. Zależność maksymalnej rocznej wartości jednostkowej ilości ciepła pobranego z gruntu przez pionowy GWC Ev a średnim ważonym współczynnikiem przewodzenia ciepłą gruntu λśrednia przy założonym czasie pracy sprężarki pompy ciepłą Tsp = 2000 h/rok.

Przykład obliczeń.
Określenie wydajności cieplnej wymiennika gruntowego.

Długość pionowych gruntowych wymienników ciepła wynosi lw = 110 m.

Geologiczny rozkład warstw gruntu i długość wymiennika w danej warstwie:
- do 20 m glina (mała zawartość wody) – długość GWC w warstwie gliny wynosi

lglina = 20 m

- od 20 do 30 m warstwa iłu - długość GWC w warstwie iłu: **liły = 10 m**
- od 30 do 130 m łupek ilasty – długość GWC **łupek ilasty = 80 m**.

Z tabeli, odczytujemy dla konkretnej warstwy gruntu współczynnik przewodności cieplnej λ:
λglina = 0,4 W/(m x K) – dla małej zawartości wody
λiły = 1,6 W/(m x K)
λłupek ilasty = 2,1 W/(m x K)

Obliczamy udział poszczególnych warstw gruntu **u** na długości 110 m GWC i wyznaczamy średnią ważoną współczynnika przewodzenia ciepła **λśrednie.**

$$u_{glina} = \frac{20}{110}$$

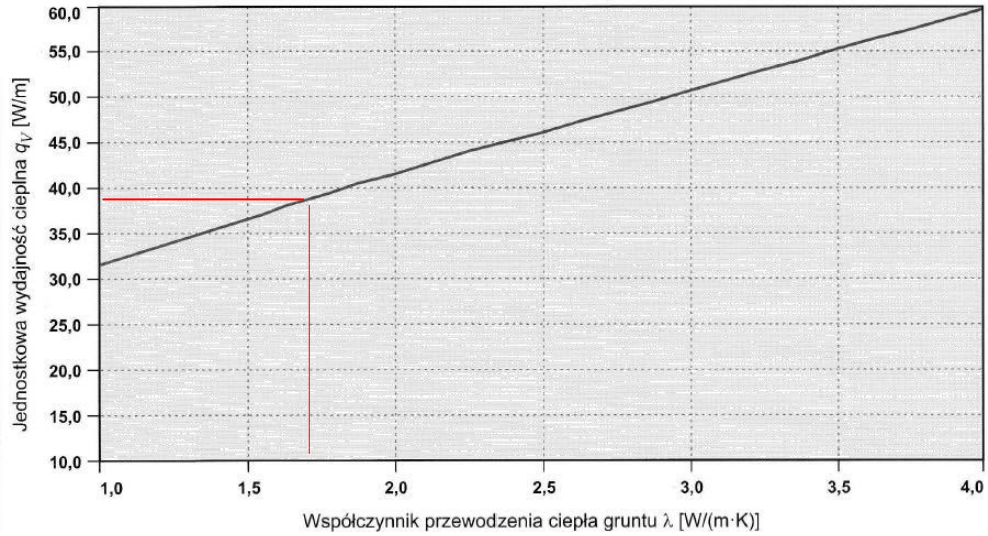
$$u_{iły} = \frac{10}{110}$$

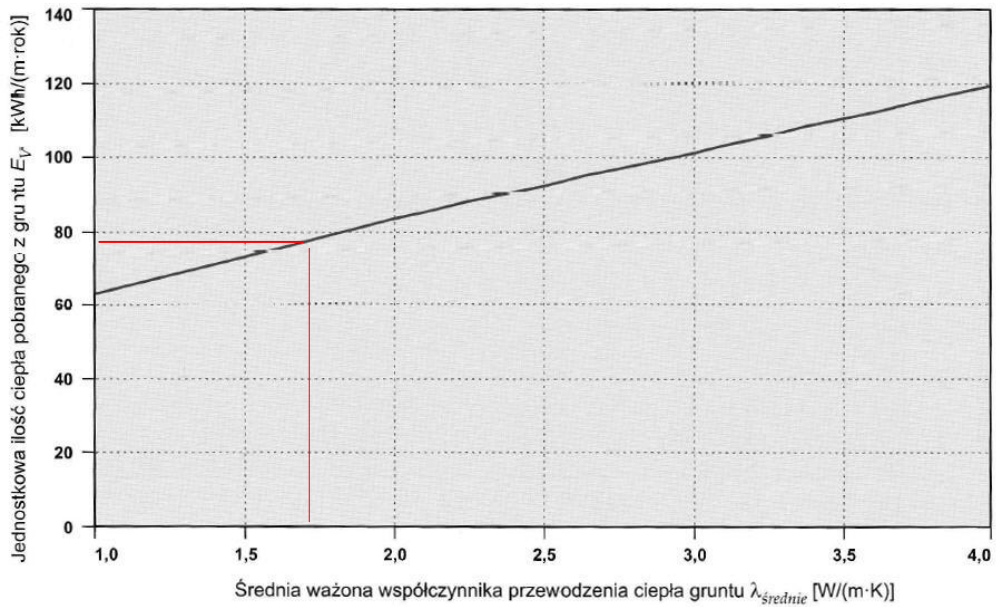
$$u_{łupek\ ilasty} = \frac{80}{110}$$

$$\lambda_{średnie} = \frac{\left(u_{glina} \cdot \lambda_{glina} + u_{iły} \cdot \lambda_{iły} + u_{glina} \cdot \lambda_{łupek\ ilasty}\right)}{\left(u_{glina} + u_{iły} + u_{łupek\ ilasty}\right)}$$

$$\lambda_{średnie} = \frac{\left(\frac{20}{110} \cdot 0{,}4 + \frac{10}{110} \cdot 1{,}6 + \frac{80}{110} \cdot 2{,}1\right)}{\left(\frac{20}{110} + \frac{10}{110} + \frac{80}{110}\right)} = 1{,}76\ \mathrm{W/(m \cdot K)}$$

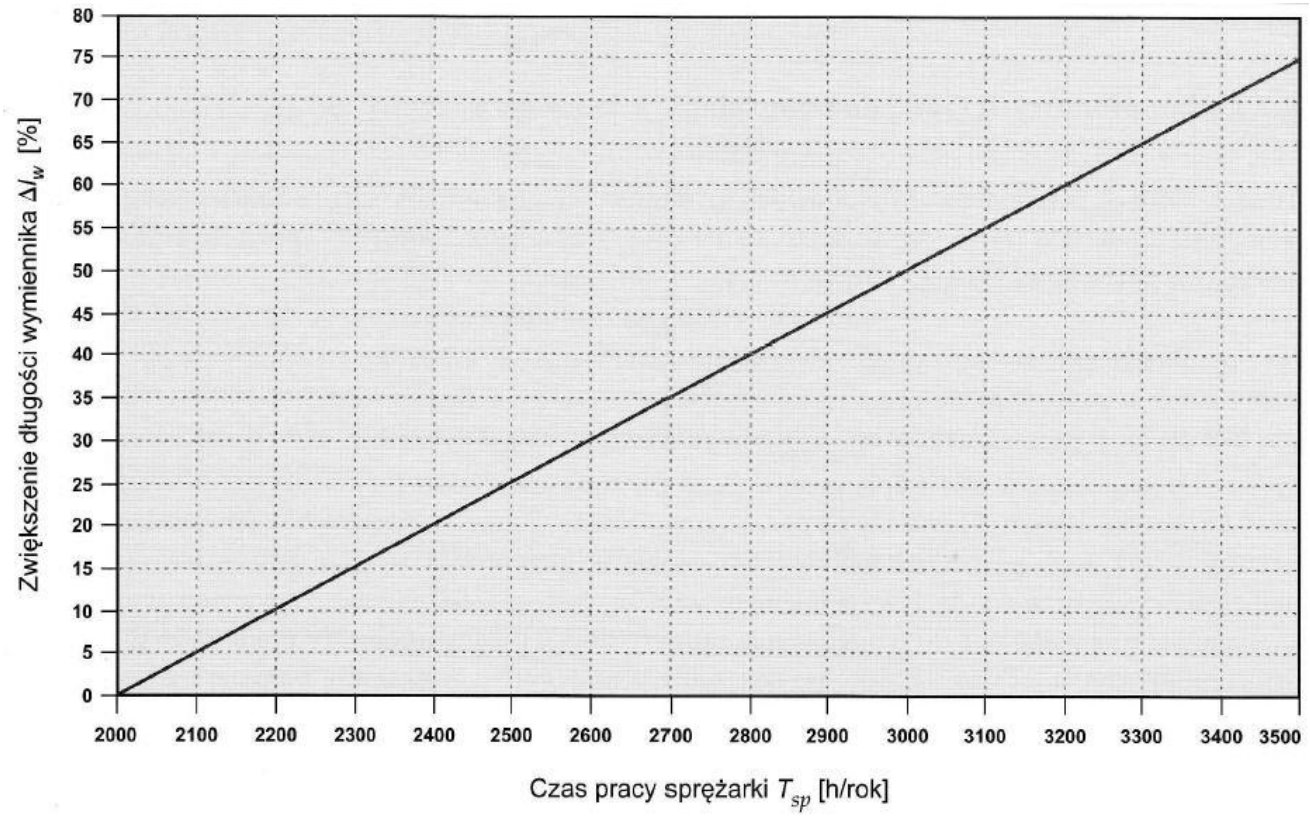
Dla **λśrednie = 1,76** odczytujemy zalecaną wartość jednostkowej wydajności cieplnej wymiennika gruntowego, która wynosi **qv = 39 W/m**, a maksymalna jednostkowa ilość ciepła pobieranego z gruntu wynosi **Ev = 78 kWh/(m** x **rok).**





W przykładzie przyjęto, że czas pracy sprężarki pompy ciepła nie przekroczy 2000 h/rok.

W przypadku, gdy czas pracy sprężarki przekroczy 2000 h/rok (**> 2000 h/rok**),
to ze względu na cieplną regenerację gruntu, należy proporcjonalnie zwiększyć długość wymiennika gruntowego wartość Δl_w – zgodnie z wykresem poniżej:



Rys. Zwiększenie długości wymiennika Δl_w w zależności od czasu pracy sprężarki pompy ciepłą T_{sp}.

Przykład obliczeń.
Wyznaczenie głębokości odwiertów.

Założenia:
Pompa ciepła o znamionowej mocy grzewczej: Q = 10 kW (B0/W35)
COP = 4
Moc chłodnicza: Q_o = 7,5 kW
Czas pracy sprężarki: T_{sp} = 2200 h/rok
Rodzaj gruntu :
- do 20 m glina (mała zawartość wody)
- od 20 do 30 m warstwa iłu
- od 30 do 130 m łupek ilasty

Łączna długość pionowego wymiennika gruntowego – **l_o**:

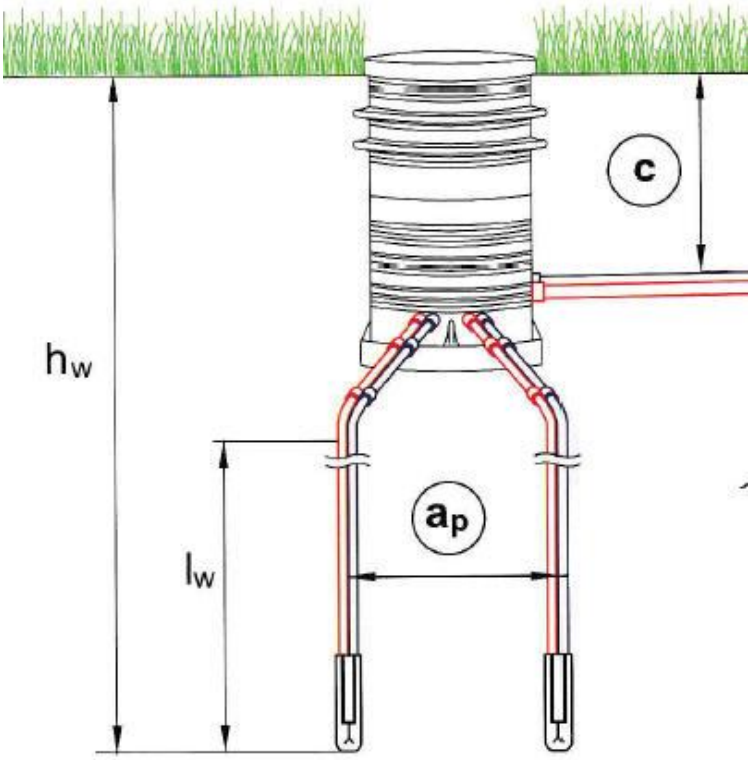
$l_o = Q_o / q_v$ = 7500 W / **39 W/m** = 192,3 m

Współczynnik korekcyjny dla czasu pracy T_{sp} = 2200 h/rok wynosi Δl_w = 10%.

Wymagana łączna długość wymiennika gruntowego pionowego wynosi:

$l_w = l_o \times (1 + \Delta l_w /100) = 192{,}3 \times 1{,}1\ m = 212\ m$

Wymagane są np.;
- **2 pionowe GWC** (odwierty), każdy o długości **106 m**, lub
- **3 odwierty po 71 m**



Nietypowe zastosowania pomp ciepła

Nietypowe zastosowania, jak. np.: ogrzewanie basenu pompą ciepła, bardzo duże zapotrzebowanie na c.w.u., zaleca się dobór pionowego GWC za pomocą programów komputerowych.

Pompa ciepła realizująca również funkcję chłodzenia naturalnego (pasywnego) – długość wymiennika gruntowego pionowego nie ulega zmniejszeniu, ani zwiększeniu w stosunku do przypadku pracy pompy ciepła bez chłodzenia pasywnego.

2.5. Aspekty doboru pionowego GWC dla PC o mocy grzewczej > 30 kW

Dobór parametrów pionowego GWC zaleca się wykonać za pomocą programów komputerowych.

Wstępny projekt i ofertowanie – można skorzystać z metody opisanej wcześniej w rozdziale 2.4. – jak dla pomp ciepła o mocy ≤ 30 kW.

Gdy moc pompy ciepła, lub łączna moc grzewcza pomp ciepła w instalacji przekracza 100 kW (**> 100 kW**), zaleca się wyznaczenie wartości współczynnika przewodzenia ciepłą z gruntu λ za pomocą urządzenia pomiarowego do realizacji testu reakcji termicznej – tzw**. test reakcji termicznej gruntu (TRT)**.
TRT polega na wykonaniu otworu próbnego i osadzeniu w nim sondy. Najczęściej za pomocą „grzałki elektrycznej" przekazywane jest ciepło do gruntu. Po jego ustabilizowaniu cieplnym badany jest stopień ochłodzenia płynu przepływającego przez gruntu. Na tej podstawie wyznaczany jest współczynnik λ.

2.6. Dodatkowe zalecenia dla doboru pionowego GWC

Temperatura „solanki" i pobór ciepła z gruntu

- **średnia miesięczna temperatura solanki** nie powinna być niższa niż: -1,5°C - – bo może powodować zbyt duże wychłodzenie gruntu
- **większy pobór ciepła z gruntu niż zakładany** - po przekroczeniu maksymalnej ilości ciepła pobieranego z gruntu (E_V), może dojść do **zbyt dużego przechłodzenia gruntu** i zwiększenia częstotliwości występowania cykli zamarzania/rozmarzania materiału wypełniającego; może to doprowadzić do **rozszczelnienia wypełnienia** wokół rury pionowego wymiennika GWC, jak również do **jego uszkodzenia**;
  powoduje to również obniżenie efektywności pracy pompy ciepła (wyższe koszty ogrzewania).

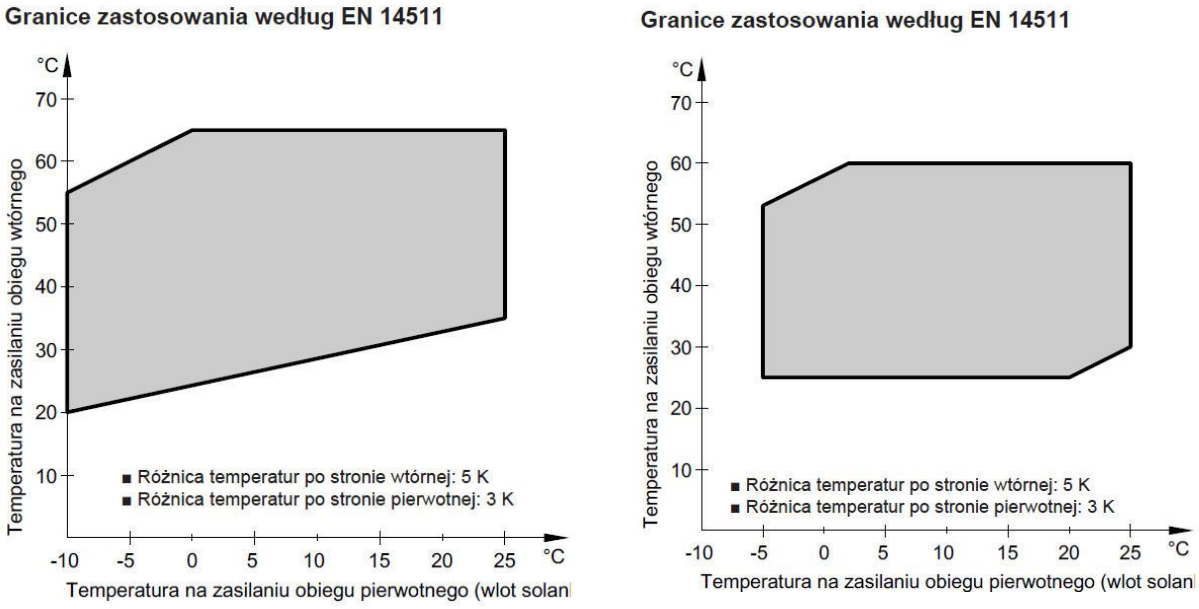
Temperatura solanki dopływającej do GWC nie powinna przekraczać 30°C **(< 30°C**) - ze względu na właściwości gruntu, przepływ wód gruntowych i trwałość wymiennika.

Zalecany przepływ solanki przez pionowy GWC:

- maksymalna prędkość przepływu solanki: **do 1,5 m/s**
- parametry GWC należy dobrać tak, aby zapewnić **przepływ turbulentny** – liczba Reynoldsa > 2300
- **różnica temperatury** na wejściu i wyjściu z parownika: **nie większa niż 3-5 K**
- przy zastosowaniu solanki na bazie glikolu etylenowego o stężeniu np. 30% (objętościowo) należy uwzględnić **współczynnik korekcyjny oporów hydraulicznych** wynoszący **1,6** (w odniesieniu do wody);
  a na bazie glikolu propylenowego o stężeniu np. 33% (objętościowo), współczynnik korekcyjny oporów hydraulicznych: **1,7**
- dobierając pompę solanki należy uwzględnić współczynnik korekcyjny charakterystyki pompy wynoszący: **Ψ=0,9** (w odniesieniu do charakterystyki pompy dotyczącej wody)

Ograniczenia możliwości pracy pompy ciepła

- niedopuszczalna jest eksploatacja pracy pompy ciepła ze zbyt niską temperaturą wody grzewczej (dane producenta – **tzw. pole pracy sprężarki** - pompy ciepła);
  na przykład, obniżona temperatura pomieszczeń w budynku: < 15°C
  zbyt niska temperatura – ryzyko uszkodzenia sprężarki, zamrożenie czy brak poprawnej regeneracji cieplnej gruntu
- niedopuszczalne jest **suszenie budynku** i wylewki ogrzewania podłogowego wyłącznie za pomocą pompy ciepła w miesiącach zimowych - przy temp zewnętrznej : **< +10°C**; niespełnienie powyższego stwarza ryzyko niewłaściwego funkcjonowania a nawet uszkodzenia pionowego GWC
- przed rozpoczęciem normalnego ogrzewania budynku wymagane jest **pozbycie się wilgoci** zawartej w tynkach, wylewkach oraz innych elementów budowlanych
- ogrzewanie budynku będącego **w czasie budowy** tylko za pomocą pompy ciepła (np., nowobudowany dom bez wykonanej jeszcze izolacji cieplnej przegród zewnętrznych), zagraża poprawnej regeneracji cieplnej dolnego źródła ciepła i w konsekwencji może doprowadzić do uszkodzenia wymiennika pionowego



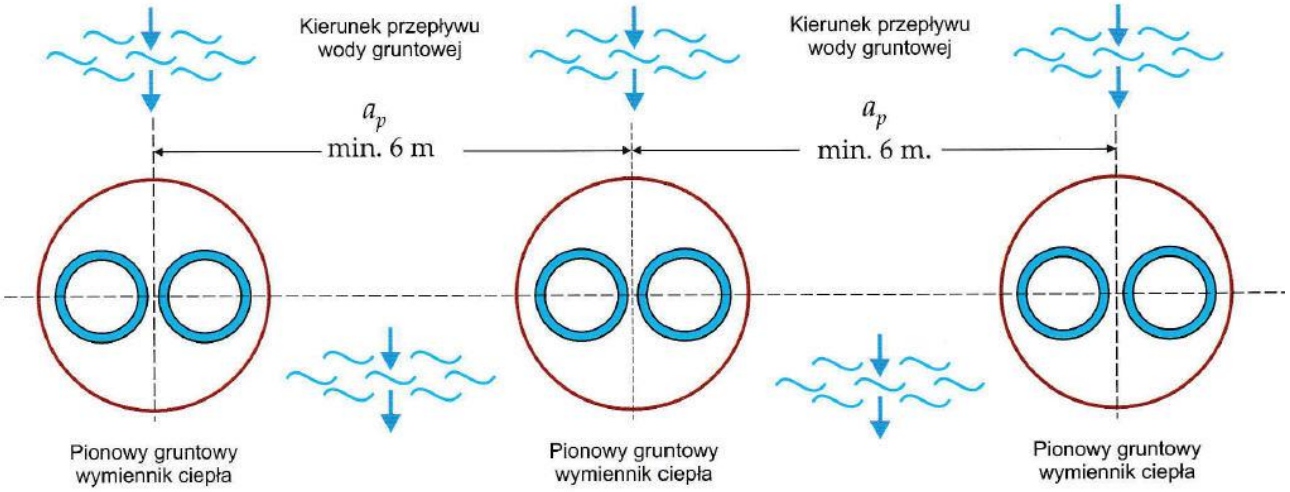
Rys. Pole pracy Vitocal 300-G (po lewej) i Vitocal 200-G (po prawej).

Minimalne odległości między sondami
Ze względu na niekorzystne wzajemne oddziaływanie cieplne minimalny odstęp między sąsiadującymi ze sobą sondami gruntowymi powinien wynosić:

- a_p = 6 m – przy głębokości wymiennika **h_w < 70 m**
- a_p = 8 m – przy głębności **70 m ≤ h_w < 100 m**
- przy głębokości **h_w > 100 m** – minimalne odstępy wyznacza się po wykonaniu geotechnicznej analizy gruntu; a minimalny odstęp pomiędzy sondami powinien być nie mniejszy niż 8% głębokości odwiertu, tj. $a_p > 0{,}08 \times h_w$

W przypadku nie zachowania minimalnych odstępów między sondami należy zwiększyć długość pionowego GWC wykorzystując wyniki obliczeń symulacyjnych programów przeznaczonych do doboru GWC.

Gdy wykonuje się kilka odwiertów – sond, powinno się je usytuować w poprzek, a nie równolegle do kierunku przepływu wód gruntowych.

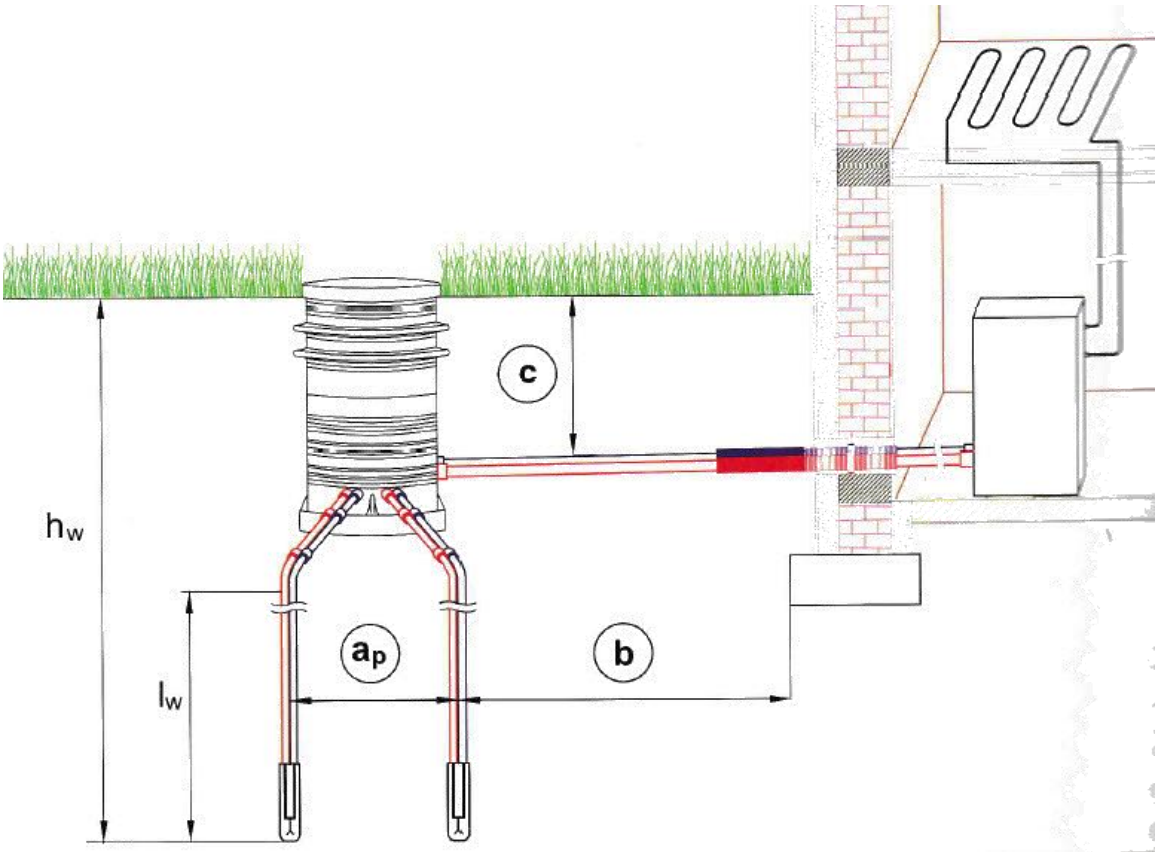


Rys. Zalecany układ pionowych GWC w stosunku do kierunku przepływu wody w gruncie.

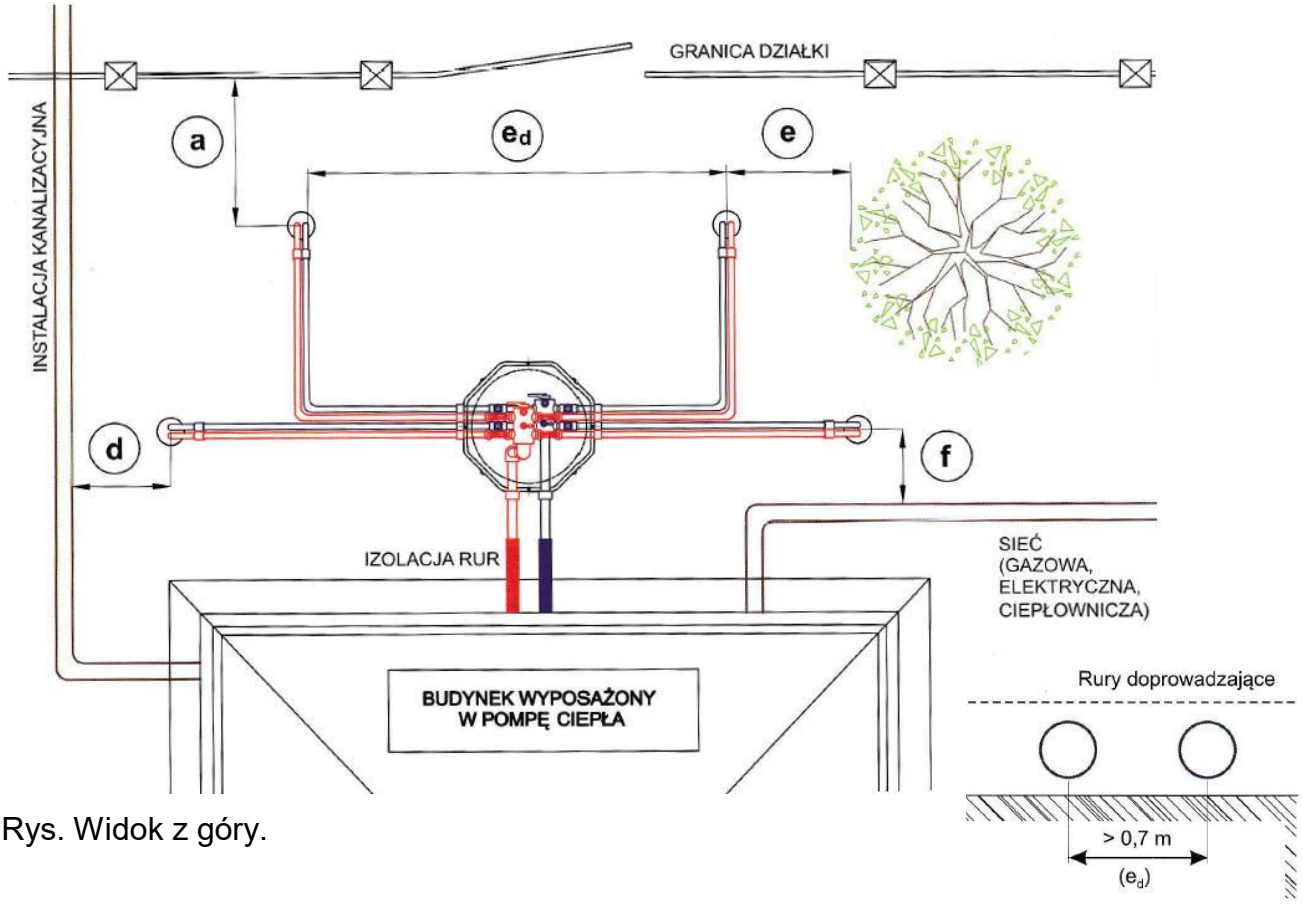
Minimalne odległości od elementów infrastruktury

- od granicy sąsiedniej posesji: a > 3,0 m
- od fundamentów budynku: b > 1,5 m
- minimalna głębokość zabudowy, od 20 do 40 cm poniżej strefy przemarzania: 1,0 m < c < 1,8 m (ze spadkiem w kierunku studzienki przyłączeniowej)
- od instalacji wodociągowych, kanalizacyjnej, wody deszczowej: d > 1,5 m

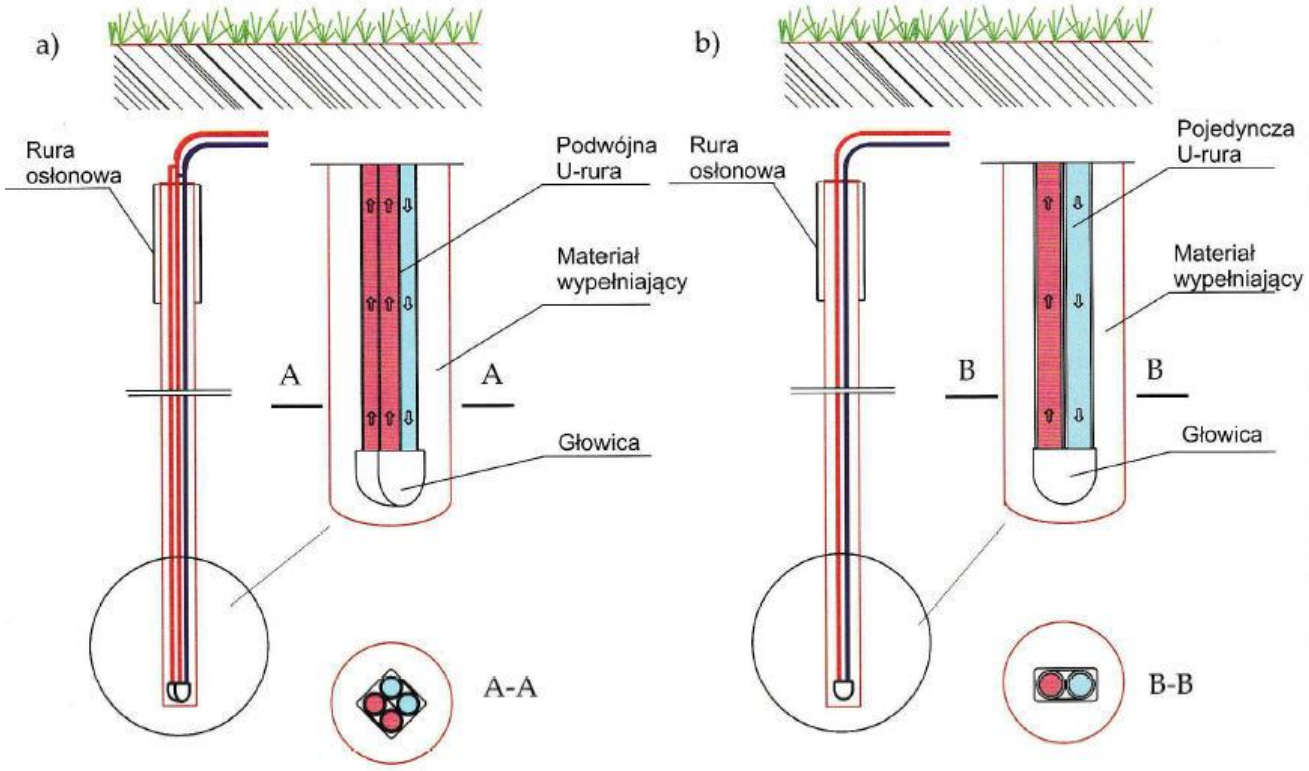
- od korony drzew o głębokich korzeniach: e > 1,5 m
- przy krzyżowaniu się rur doprowadzających GWC należy je zaizolować na odcinku: > 3,0 m
- między rurami doprowadzającymi: e_d > 70 cm (w przypadku nie zachowania tej odległości zaleca się zaizolowanie odcinków rur)
- od instalacji elektrycznych, gazowych, telekomunikacyjnych, ciepłowniczych: f > 1,5 m
- dopuszcza się także wykonanie pionowego GWC pod budynkiem, po dokonaniu odpowiednich uzgodnień budowlanych



Rys. Widok z boku.



Rys. Widok z góry.



Rys. Przykładowe rozwiązania pionowych gruntowych wymienników ciepła;
a) z podwójną U-rurą, b) z pojedynczą U-rurą.

Materiał wypełniający
Przestrzeń między rurami pionowego GWC a ściankami odwiertu wypełnia się przeznaczonym do tego celu materiałem – masą wypełniającą.

Wypełnienie zapewnia :

- prawidłową wymianę ciepła solanki z gruntem
- zabezpiecza rury wymiennika przed uszkodzeniami – większe bezpieczeństwo pracy wymiennika
- uszczelnienie otworu na całej długości rur – zapobiega przedostawaniu się zanieczyszczeń powierzchniowych oraz separuje przewiercone poziomy wodonośne

Materiał wypełniający wprowadza się do otworu za pomocą dodatkowej rury HDPE o średnicy min. 25 x 2,3.

Jako materiał wypełniający zaleca się stosowanie gotowych mieszanek do wykonania masy wypełniającej o wysokim współczynniku przewodzenia ciepła: $\lambda_W \geq 2{,}0$ W/(m x K)

Pompę ciepła można uruchomić po upływie minimum 7 dni od wykonania pionowego GWC.

3. Poziome gruntowe wymienniki ciepła

3.1. Aspekty prawne

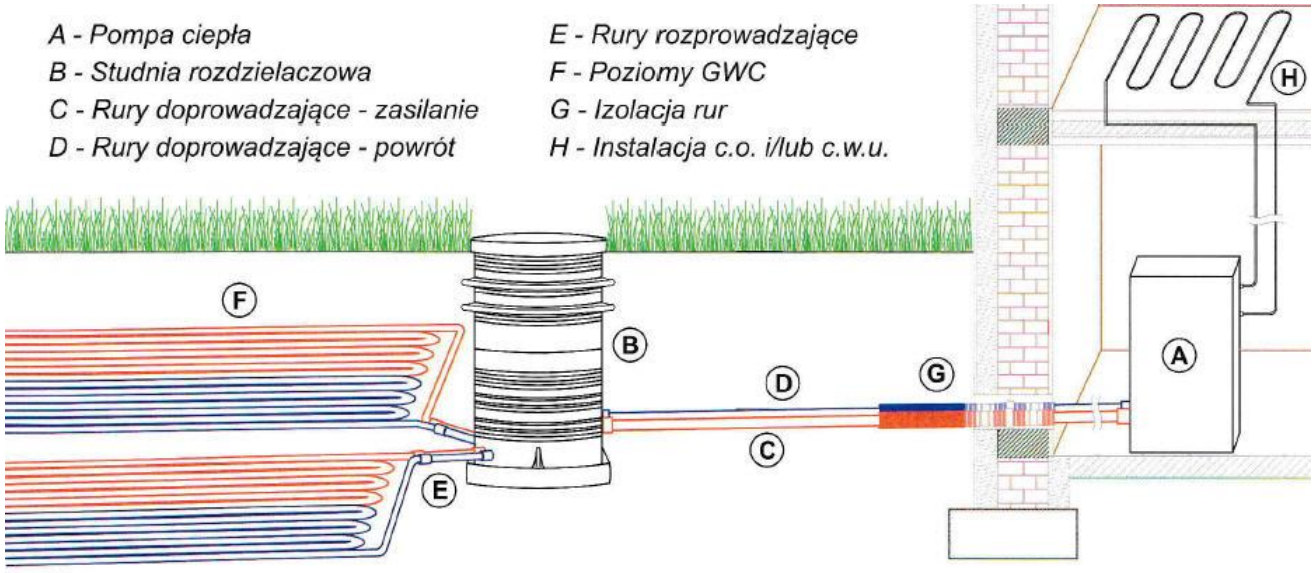
Zgodnie z prawem budowlanym, wymienniki gruntowe stanowią przyłącze cieplne do budynku i **nie wymagają pozwolenia na budowę**.

Zamiar przystąpienia do wykonania poziomego GWC **należy zgłosić** wójtowi, burmistrzowi lub prezydentowi, właściwemu ze względu na miejsce prowadzenia prac.

Zgłoszenie powinno być dokonane najpóźniej na **30 dni** przed terminem rozpoczęcia prac. Powinno zawierać również takie informacje jak: rodzaj, zakres i sposób wykonania wymiennika ciepła oraz planowany termin rozpoczęcia prac.

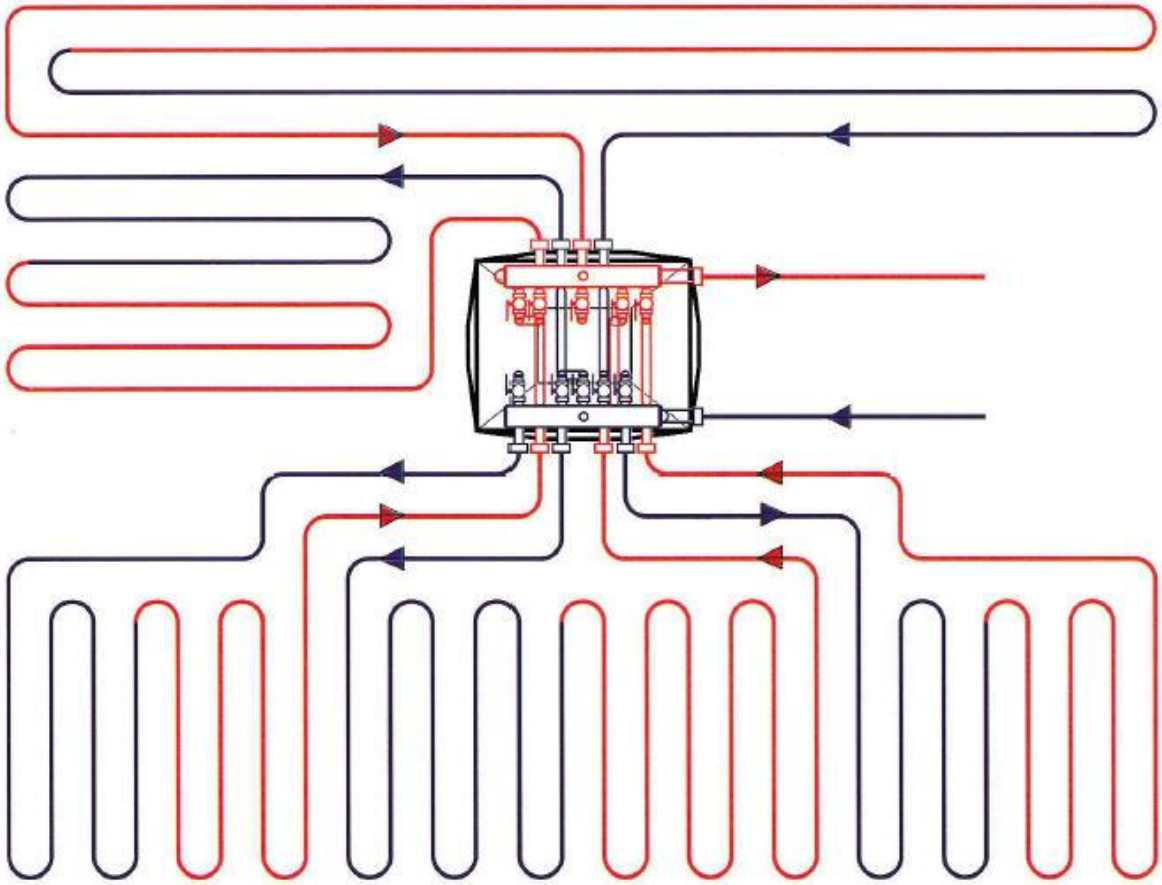
Do wykonania wymiennika ciepła można przystąpić, jeśli w terminie 30 dni od daty doręczenia zgłoszenia właściwy organ nie wniesie, w drodze decyzji, sprzeciwu.

3.2. Rodzaje poziomych gruntowych wymienników ciepła

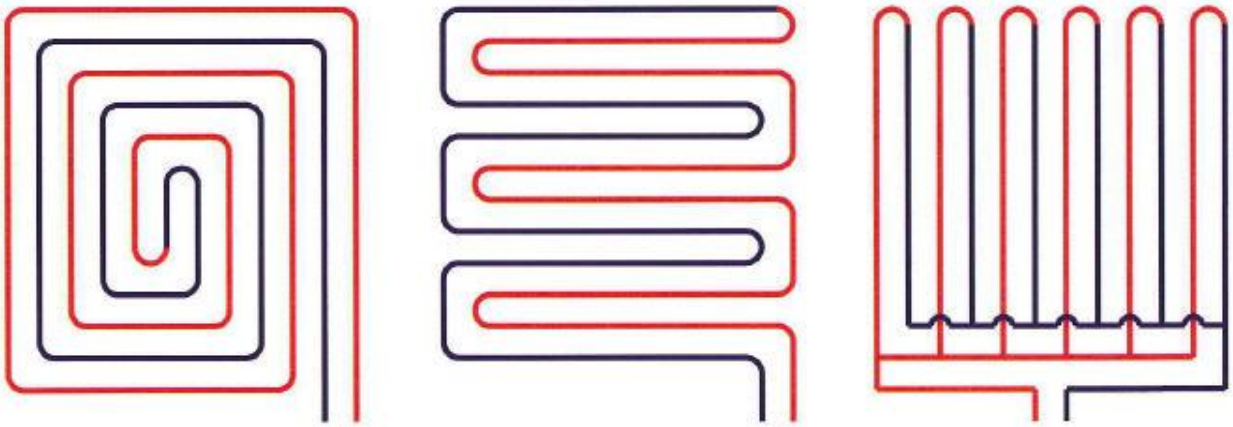


Rys. Schemat instalacji pompy ciepła z poziomym GWC.

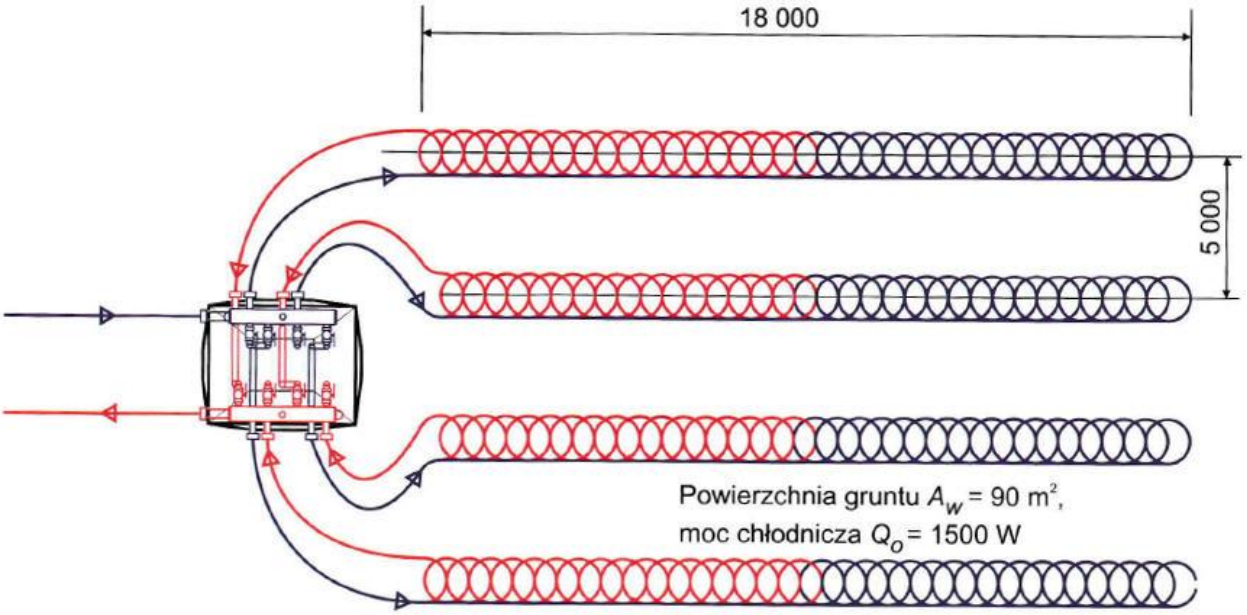
Przykłady ułożenia poziomych GWC:



Rys. Ułożenie meandryczne (pojedyncze).



Rys. Ułożenie w kształcie ślimaka, podwójnego meandra oraz w układzie Tichelmanna.



Rys. spiralny poziomy GWC – możliwość takie rozwiązania poziomego GWZ należy za każdym razem skonsultować z producentem/dostawcą dolnego źródła Lub producenta pompy ciepła.

3.3. Aspekty doboru poziomego GWC dla PC o mocy grzewczej ≤ 30 kW

Podobnie jak przy pionowych GWC, projektując instalację poziomego GWC należy wykorzystując programy komputerowe uwzględnić dwa przypadki pracy:

- **krótkotrwały intensywny pobór ciepła z gruntu**, np.: ciągła praca PC przez 48 godzin z mocą znamionową warunkach obliczeniowych i z maksymalnym odbiorem ciepła z gruntu
- **długotrwały pobór ciepła z gruntu**, np.: ciągła praca pompy ciepła z założonym średnim miesięcznym odbiorem ciepła z gruntu.

W obu przypadkach należy:

- zapewnić aby parametry pracy nie przekroczyły granicznych wartości wynikających, z np. minimalnej temperatury odparowania czynnika roboczego w pompie ciepła (minimalna temperatura solanki), lub maksymalnego dopuszczalnego schłodzenia gruntu
- uwzględnić możliwość pogorszenia się zdolności do regeneracji gruntu przy osiągnięciu temperatury gruntu w kontakcie z pionowym GWC poniżej 0°C.

Dobór poziomego GWC

Dla wykonania wstępnego projektu lub szacunkowej oferty instalacji z pompą ciepła:

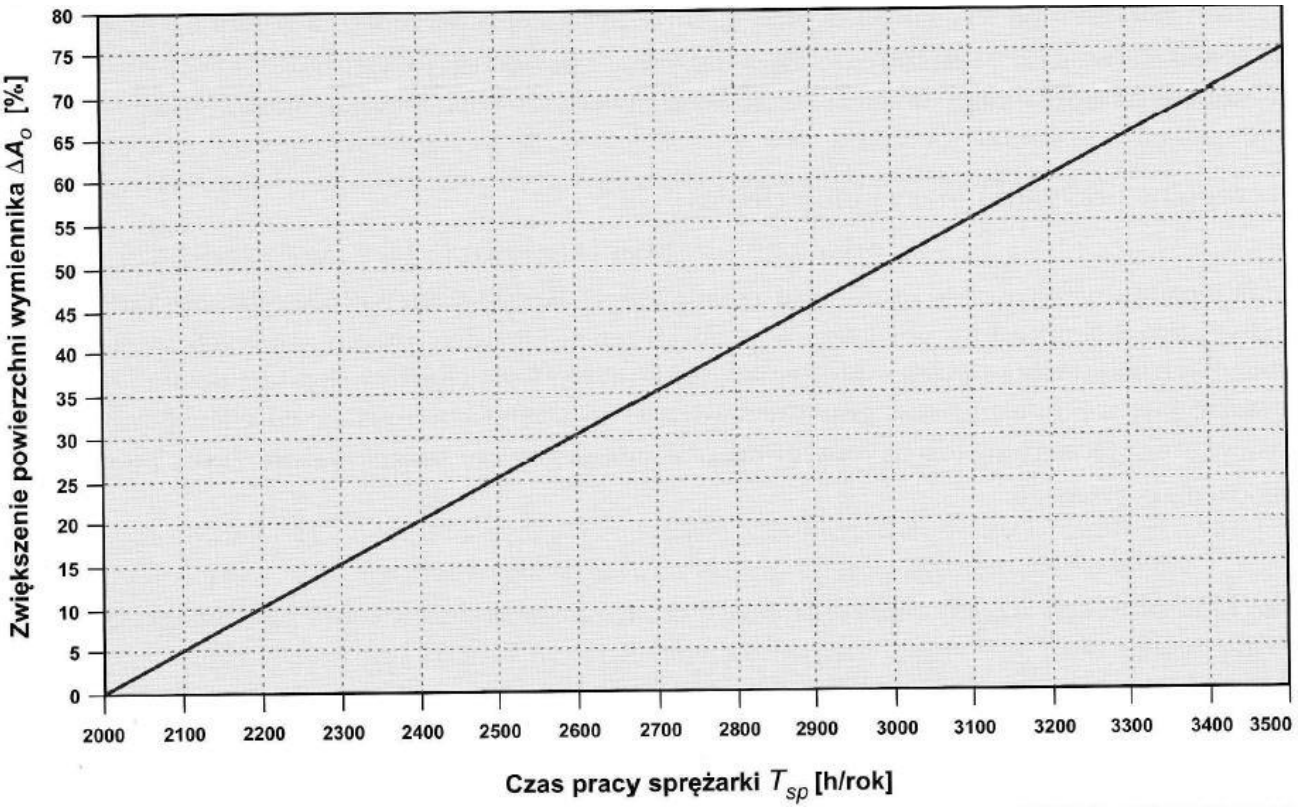
- w nominalnych warunkach jej pracy, np.: B0/W35
- przy czasie pracy pompy ciepła – sprężarki, z pełnym obciążeniem: **2000 h/rok**
- przy braku pełnego rozpoznania geologicznego gruntu,

można przyjmować jednostkową wydajność cieplną gruntu **q_H** (poziomego GWC),
nie większą niż **20 W/m2** powierzchni gruntu **(q_H < 20 W/m2)**.

Jednostkowa wydajność cieplna gruntu **q_H** – często potocznie nazywana jest **mocą chłodniczą** pobieraną z gruntu.

Szacowana (przyjmowana) wartość ilości ciepła pobieranego z gruntu **E_H** nie powinna wynosić więcej niż **40 kWh / (m2 x rok) – (E_H < 40 kWh/(m2 x rok)).**
[20 W/m2 x 2000 h/rok = 40 000 Wh/(m2 x rok) = 40 kWh/(m2 x rok)]

Ze względu na regenerację cieplną gruntu czas pracy sprężarki pompy ciepła nie powinien przekraczać T_{sp} = 2000 h/rok.
Przy przekroczeniu czasu pracy: T_{sp} > 2000 h/rok, należy proporcjonalnie zwiększyć powierzchnię poziomego GWC: ΔA_o.



Rys. Zwiększenie powierzchni ΔA_o poziomego GWC w zależności od czasu [racy sprężarki pompy ciepła T_{sp}.

Rozstaw pomiędzy przewodami poziomego GWC **e_P** powinien wynosić min. **0,7 m (70 cm)** Minimalna strata ciśnienia na pojedynczej pętli wymiennika **Δp_P** nie powinna być mniejsza niż **20 kPa (0,2 bar).**

Wartość jednostkowej wydajności cieplnej **q_H** oraz ilości ciepła pobranego z gruntu **E_H** podane w tabelach poniżej należy traktować jako wartości przybliżone.
Ze względu na możliwość zmieniania się poziomu wód gruntowych wartości te należy zawyżyć.

Zalecane wartości jednostkowej wydajności cieplnej **q_H**, jednostkowej ilości ciepła pobranego z gruntu **E_H** i rozstawu rur **e_P** poziomego GWC:

Wartości jednostkowej wydajności cieplnej q_H poziomego GWC wg VDI 4640 cz. 2

Właściwości gruntu	q_H [W/m^2] T_{sp} = 1800 h/rok	q_H [W/m^2] T_{sp} = 2400 h/rok
Grunt spoisty z dużą wilgotnością końcową	30	25
Grunt suchy, luźny	10	8
Grunt spoisty, wilgotny	20 - 30	16 - 25
Wodonośny żwir, piasek	40	32

Podane wartości dotyczą typowych przypadków poboru ciepła do celów c.o. i przygotowania ciepłej wody użytkowej w budynkach jedno- i dwurodzinnych odniesione do czasu pracy sprężarki T_{sp}= 1800 oraz 2400 h/rok

Wartości jednostkowej ilości ciepła pobranego z gruntu E_H poziomego GWC wg VDI 4640 cz. 2

Właściwości gruntu	Maksymalna jednostkowa ilość ciepła pobranego z gruntu E_H [kWh/m^2], T_{sp}= 2400 h/rok
Wartość zalecana	**40**
Grunt spoisty z dużą wilgotnością końcową	60
Grunt suchy, luźny	20
Grunt spoisty, wilgotny	38- 60
Wodonośny żwir, piasek	76

Podane wartości dotyczą typowych przypadków poboru ciepła do celów c.o. i przygotowania ciepłej wody użytkowej w budynkach jedno- i dwurodzinnych odniesione do czasu pracy sprężarki T_{sp}= 2400 h/rok

Zalecane rozstawy e_p i średnice rur d_n dla kolektorów ułożonych w układzie meandrycznym (na podstawie wg VDI 4640 cz. 2 oraz opracowania z Technischen Universiteat Dresden*)

Właściwości gruntu	Minimalny rozstaw ułożenia rur e_p [m]	Proponowane rury PE d_n x g [mm]
Suchy grunt	0,6	25 x 2,3
Przeciętny grunt	0,7	32 x 2,9
Wilgotny grunt	0,8 - 1,0	40 x 3,7

*) Klaus Ramming - dysertacja doktorska. 2007, tabela 5.4,

W przypadku nietypowych zastosowań pomp ciepła, zaleca się wykonać dobór poziomego GWC za pomocą komputerowych programów symulacyjnych.
Chłodzenie pasywne za pomocą poziomego GWC – powierzchnia wymiennika nie ulega zmniejszeniu w stosunku do przypadku pracy instalacji bez chłodzenia.

Przykład obliczeń
Wyznaczenie powierzchni poziomego GWC

Pompa ciepła o znamionowej mocy grzewczej: Q = 10 kW (B0/W35)
COP = 4
Moc chłodnicza: Q_o = 7,5 kW
Czas pracy sprężarki: T_{sp} = 2 400 h/rok
Grunt wilgotny, gliniasto-piaszczysty, normalnie nasłoneczniony: q_H = 20 W/m2

Powierzchnia poziomego GWC: A_o (dla Tsp=2000 h/rok)

$$A_o = Q_o / q_H = 7500 \text{ W} / 20 \text{ W/m2} = 375 \text{ m2}$$

Współczynnik korekcyjny dla Tsp=2400 h/rok – z wykresu: ΔA_o = 20%

Wymagana powierzchnia działki: A_w

$$A_w = A_o \times (1 + \Delta A_o / 100) = 375 \times 1,2 = 450 \text{ m2}$$

Wymagany rozstaw rur wymiennika e_p = 0,8 m

Łączna długość rur poziomego GWC: L_p

$$L_p = A_w / e_p = 450 / 0,8 = 562 \text{ m}$$

Przyjęto 5 pętli rur HDPE 32x2,9 o długości l_p = 120 m każda

Przykład obliczeń.
Wyznaczenie powierzchni poziomego GWC

Moc chłodnicza: Q_o = 8 kW
Czas pracy sprężarki: T_{sp} = 2 100 h/rok
Grunt wilgotny, gliniasto-piaszczysty, normalnie nasłoneczniony: q_H = 20 W/m2

Powierzchnia poziomego GWC: A_o (dla Tsp=2000 h/rok)

$$A_o = Q_o / q_H = 8000 \text{ W} / 20 \text{ W/m2} = 400 \text{ m2}$$

Współczynnik korekcyjny dla Tsp=2100 h/rok – z wykresu: ΔA_o = 5%

Wymagana powierzchnia działki: A_w

$$A_w = A_o \times (1 + \Delta A_o / 100) = 400 \times 1{,}05 = 420 \text{ m2}$$

Wymagany rozstaw rur wymiennika e_p = 0,8 m

Łączna długość rur poziomego GWC: L_p

$$L_p = A_w / e_p = 420 / 0{,}8 = 525 \text{ m}$$

Przyjęto 3 pętle rur HDPE 40x3,7 o długości l_p = 175 m każda.

3.4. Aspekty doboru poziomego GWC dla PC o mocy grzewczej > 30 kW

Dobór parametrów poziomego GWC zaleca się wykonać za pomocą programów komputerowych.

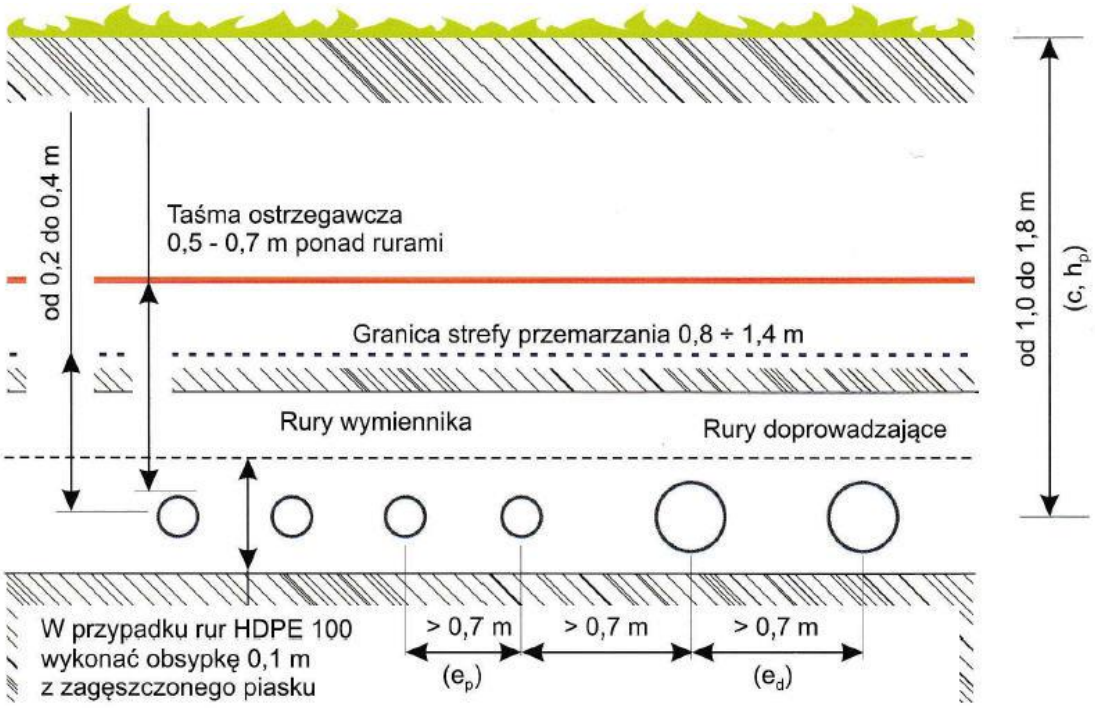
Wstępny projekt i ofertowanie – można skorzystać z metody opisanej wcześniej, jak dla pomp ciepła o mocy ≤ 30 kW.

3.5. Dodatkowe zalecenia dla doboru poziomego GWC

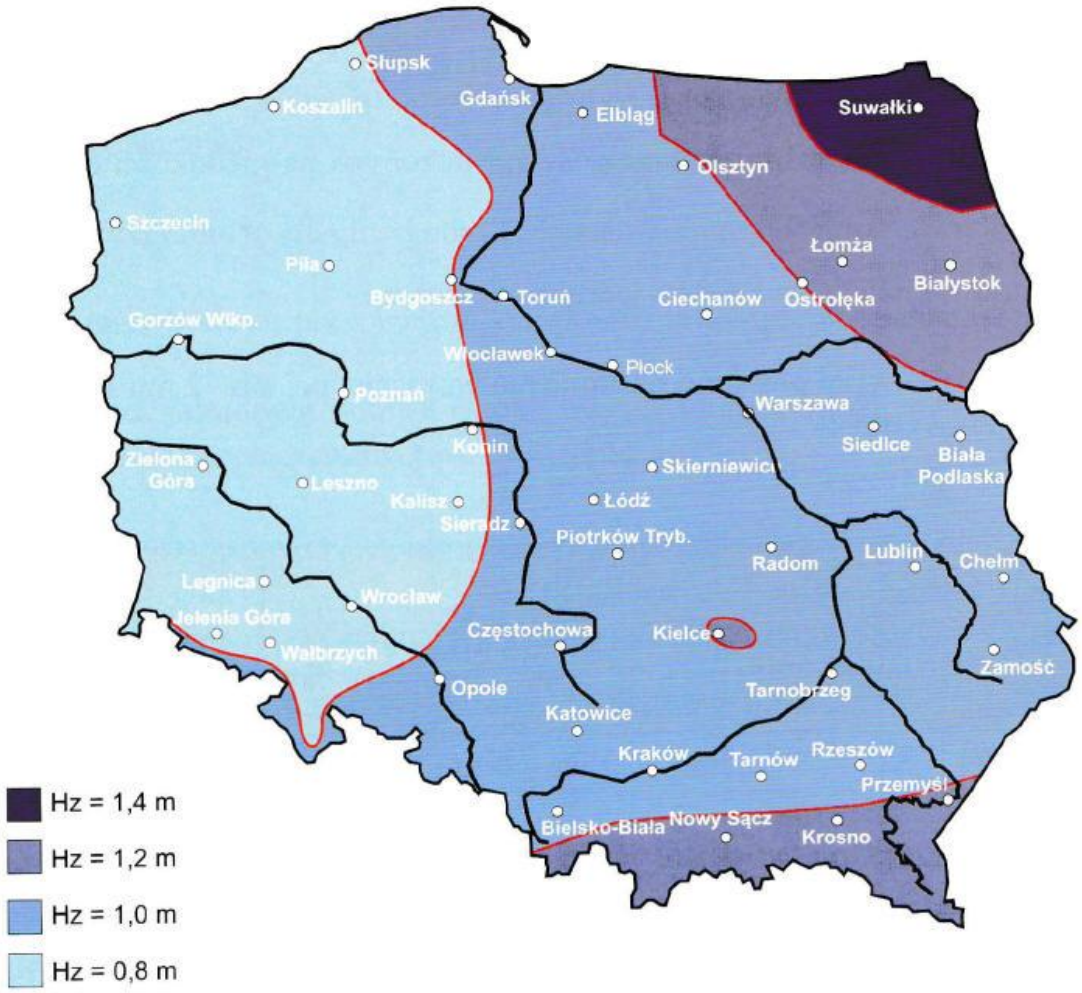
Minimalne odległości od elementów infrastruktury

- od granicy sąsiedniej posesji: a > 3,0 m
- od fundamentów budynku: b > 0,5 m
- głębokość zabudowy, od 20 do 40 cm poniżej strefy przemarzania: 1,0 m < c; h_p < 1,8 m (ze spadkiem w kierunku studzienki przyłączeniowej)
- od instalacji wodociągowych, kanalizacyjnej, wody deszczowej: d > 1,5 m

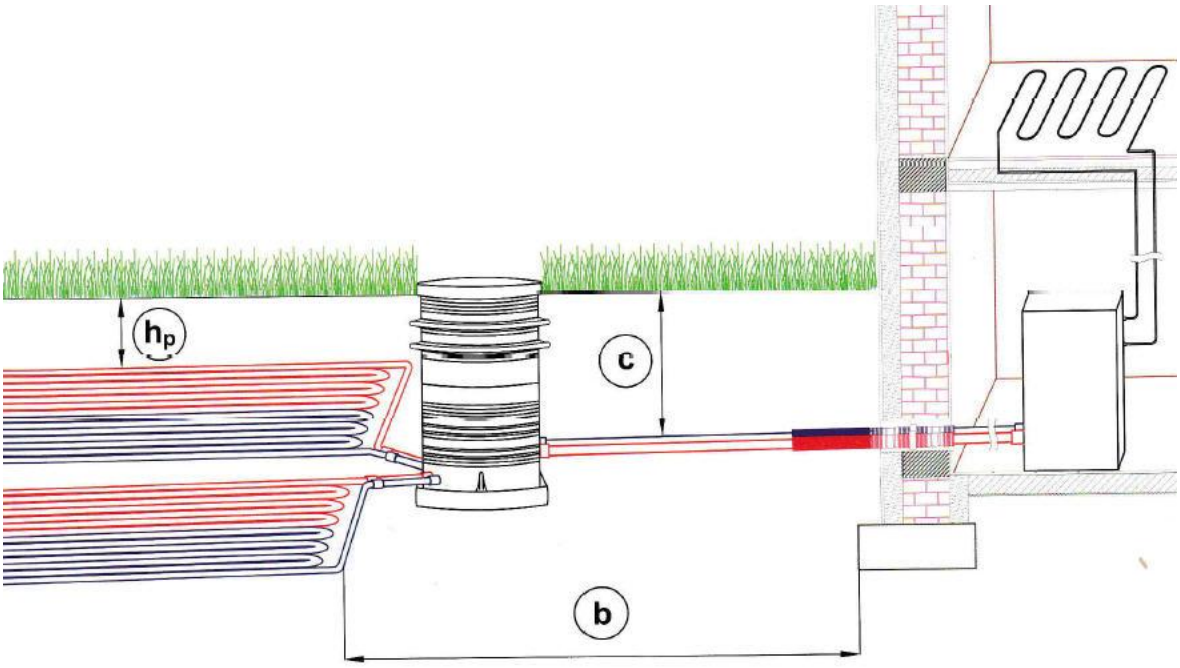
- od korony drzew o głębokich korzeniach: e > 1,5 m
- od instalacji elektrycznych, gazowych, telekomunikacyjnych, ciepłowniczych: f > 1,5 m
- przy krzyżowaniu się rur doprowadzających GWC należy je zaizolować na odcinku: > 3,0 m
- odstęp między rurami doprowadzającymi (osiami rur): e_d > 70 cm (w przypadku nie zachowania tej odległości zaleca się zaizolowanie odcinków rur)
- w przypadku schodów oraz miejsc do siedzenia zachować odstęp: > 1,5 m
- odstęp między rurami (osiami rur) poziomego GWC powinien wynosić: e_p > 0,7 m



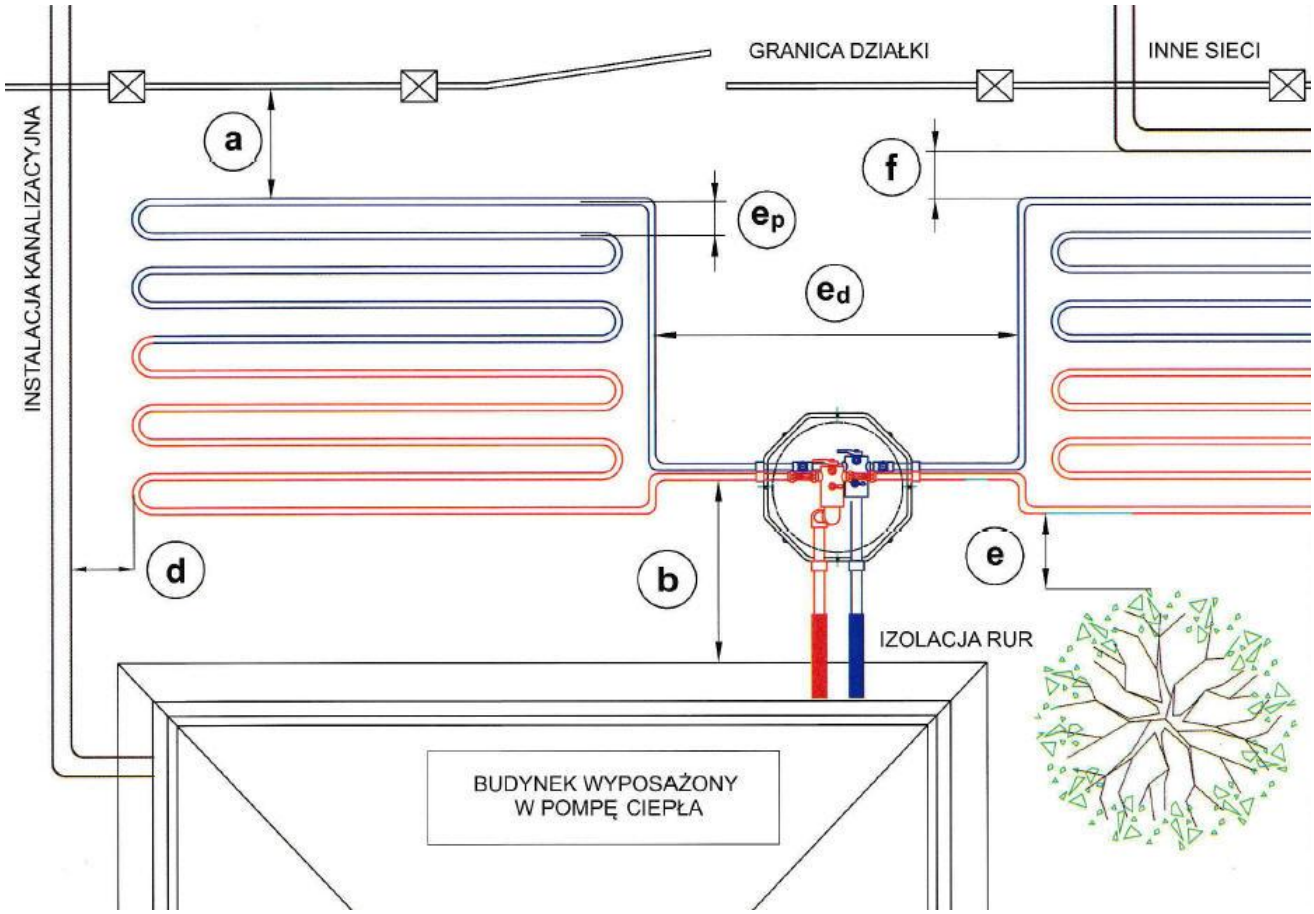
Rys. Zalecane odległości poziomego GWC od innych elementów ułożonych w gruncie.



Rys. Strefy przemarzania gruntu na terenie Polski – wg PN-EN 1997-1:2008.



Rys. Zalecane odległości - widok z boku.



Rys. Zalecane odległości – widok z góry.

Układanie poziomego GWC
Przewody rurowe należy układać w obsypce piaskowej o grubości przynajmniej 10-15 cm –
- piasek średni typu G1 (wymiar ziaren piasku: 0,4 mm)

W przypadku rur PE-Xa, HDPE100-RC, dopuszcza się ich układanie w gruncie rodzimym.

Rury wymiennika powinny zostać ułożone na głębokości od 20 do 40 cm poniżej strefy przemarzania gruntu.

Zaleca się wykonanie minimum 2 pętli – min 2 obiegi poziomego GWC.

Nie można układać uszkodzonych rur, np.: rysy, karby), bo skróci to okres użytkowania wymiennika.

Należy unikać połączeń gwintowanych w gruncie.
Gwintowane złączki można używać tylko w miejscach łatwodostępnych - poza gruntem i z możliwością zapewnienia rewizji.

Nad rurami wymiennika, na głębokości ok. 50 cm, należy ułożyć taśmę ostrzegawczą.

Uruchomienie pompy ciepła powinno nastąpić nie wcześniej niż po 2 miesiącach

od zakończenia układania poziomego GWC.

Przy układaniu wymiennika należy przestrzegać minimalnych wartości temperatury zewnętrznej oraz minimalnych promieni gięcia rur.

Temperatura układania [°C]	PE-X min. promień gięcia R_{min} [cm]				HDPE/HDPE-RC min. promień gięcia R_{min} [cm]		
	20 x 1,9	25 x 2,3	32 x 2,9	40 x 3,7	25 x 2,3	32 x 2,9	40 x 3,7
20	20	25	30	40	50	65	80
10	30	40	50	65	85	110	140
0	40	50	65	80	125	160	200

Tabela. Minimalne wartości promienia gięcia rur wymiennika w zależności od temperatury zewnętrznej.

4. Koszowe gruntowe wymienniki ciepła

4.1. Akty prawne.

Zgodnie z prawem budowlanym, wymienniki gruntowe stanowią przyłącze cieplne do budynku i **nie wymagają pozwolenia na budowę**.

Zamiar przystąpienia do wykonania poziomego GWC **należy zgłosić** wójtowi, burmistrzowi lub prezydentowi, właściwemu ze względu na miejsce prowadzenia prac.

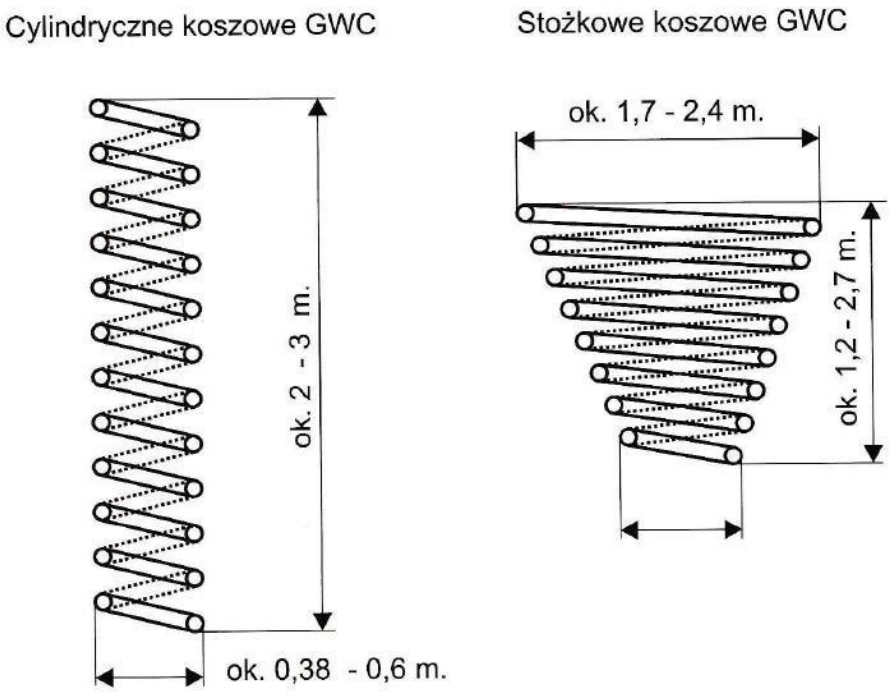
Zgłoszenie powinno być dokonane najpóźniej na **30 dni** przed terminem rozpoczęcia prac. Powinno zawierać również takie informacje jak: rodzaj, zakres i sposób wykonania wymiennika ciepła oraz planowany termin rozpoczęcia prac.

Do wykonania wymiennika ciepła można przystąpić, jeśli w terminie 30 dni od daty doręczenia zgłoszenia właściwy organ nie wniesie, w drodze decyzji, sprzeciwu.

4.2. Zastosowanie i wykonanie.

Koszowy GWC jest rozwiązaniem, które można zastosować w każdym przypadku, szczególnie tam gdzie utrudnione jest wykonanie „tradycyjnych” wymienników gruntowych.

Koszowe GWC wykonane są zazwyczaj z rur z polietylenu sieciowanego PE-X, spiralnie skręconych.
Zastosowanie PE-X pozwala na wykorzystanie rodzimego gruntu , który zazwyczaj charakteryzuje się wyższym współczynnikiem przewodności cieplnej.



Rys. Przykłady konstrukcji kosztowych GWC.

4.3. Dobór koszowych GWC

Koszowe GWC są indywidualnymi konstrukcjami poszczególnych producentów – warunki I możliwości ich zabudowy należy każdorazowo uzgodnić z danym producentem.

> 30 kW
W przypadku większych instalacji, o mocy grzewczej Q_C > 30 kW, zawsze należy przeprowadzić dokładne obliczenia i wymiarowanie instalacji w formie symulacji komputerowej.

< 30 kW
Podstawą doboru koszowych GWC jest zapotrzebowanie na ciepło budynku.

Wydajność przykładowych koszowych GWC w zależności od rodzaju gruntu i jego wilgotności przedstawia tabela poniżej.

Rodzaj gruntu	Jednostkowy strumień pobieranego ciepła przez każdy cylindryczny koszowy GWC q_K **[W/szt.]**			
Producent koszowego GWC	**A**	**B**	**C**	**D**
Piasek (suchy) < 14 % zaw. H_2O	240	230	250	310
Glina	380	370	370	480
Muł suchy	410	400	430	520
Glina piaszczysta	450	440	480	560

Tab. Jednostkowy strumień pobieranego ciepła przez pojedynczy koszowy GWC przy czasie pracy pompy ciepła T_{sp} = 1800 h/rok.

W zależności od liczby godzin pełnego obciążenie, odstępów pomiędzy poszczególnymi koszowymi GWC, warunków klimatycznych i wpływu wód gruntowych, wartości podane w tabeli powyżej mogą się zmieniać.

Przykład
Dobór wymienników koszowych.

Moc grzewcza pompy ciepła: Q_C = 10 kW
Moc chłodnicza: Q_O = 7,5 kW
Czas eksploatacji: T_{sp} = 1800 h/rok
Grunt: ił pylasty, woda gruntowa na głębokości 3 m
Głębokość montażu: h_k = 4,2 m – poniżej górnej rzędnej terenu
Jednostkowy strumień ciepła pobierany przez koszowy GWC: q_k = 400 W/szt

Przybliżona liczba koszowych GWC: N_{ko}

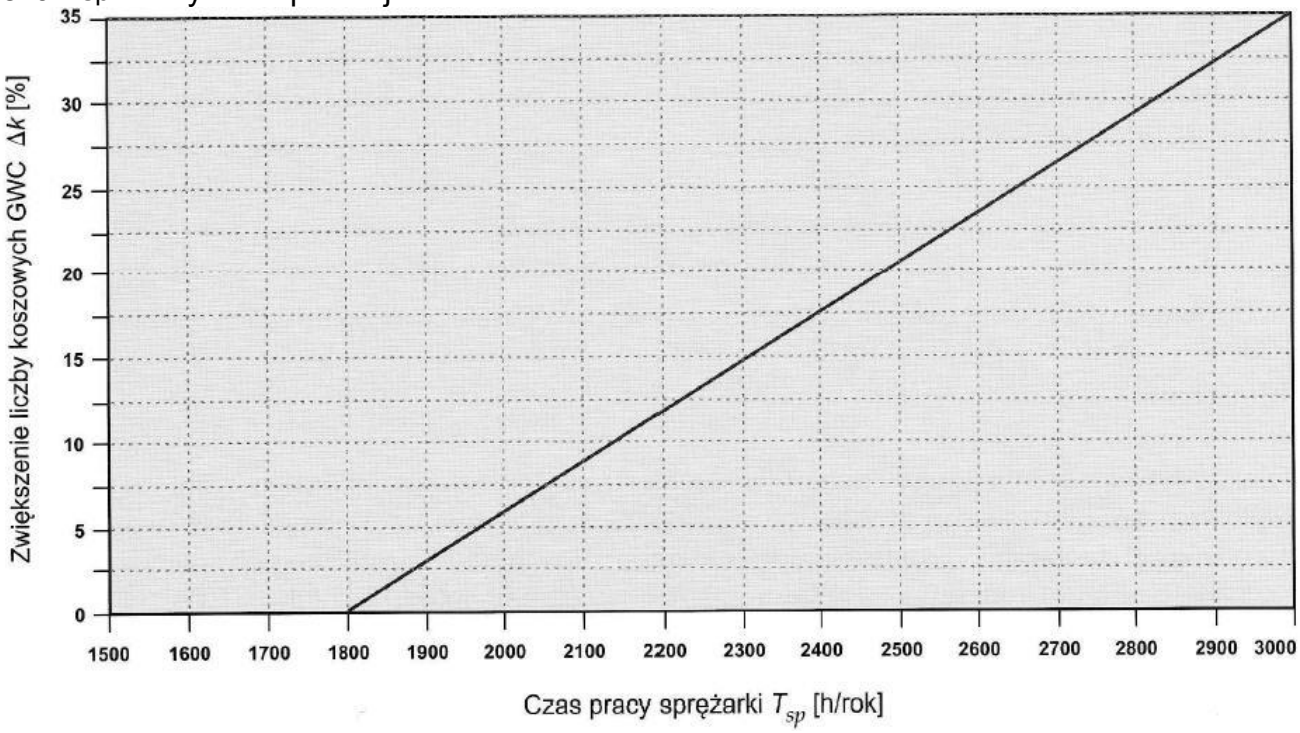
$$N_{ko} = Q_O / q_k = 7500\ W / 400\ W/szt = 19\ szt.$$

Korekta ze względu na czas pracy T_{sp} – zwiększenie liczby koszowych GWC:

Ostateczna liczba koszowych GWC: N_{ks}

$$N_{ks} = N_{ko} \times (1 + \Delta k / 100)$$

Δk – zwiększenie liczby koszowych GWC ze względu na dłuższy czas pracy sprężarki w ciągu roku T_{sp} – z wykresu poniżej:



lub, z zależności:

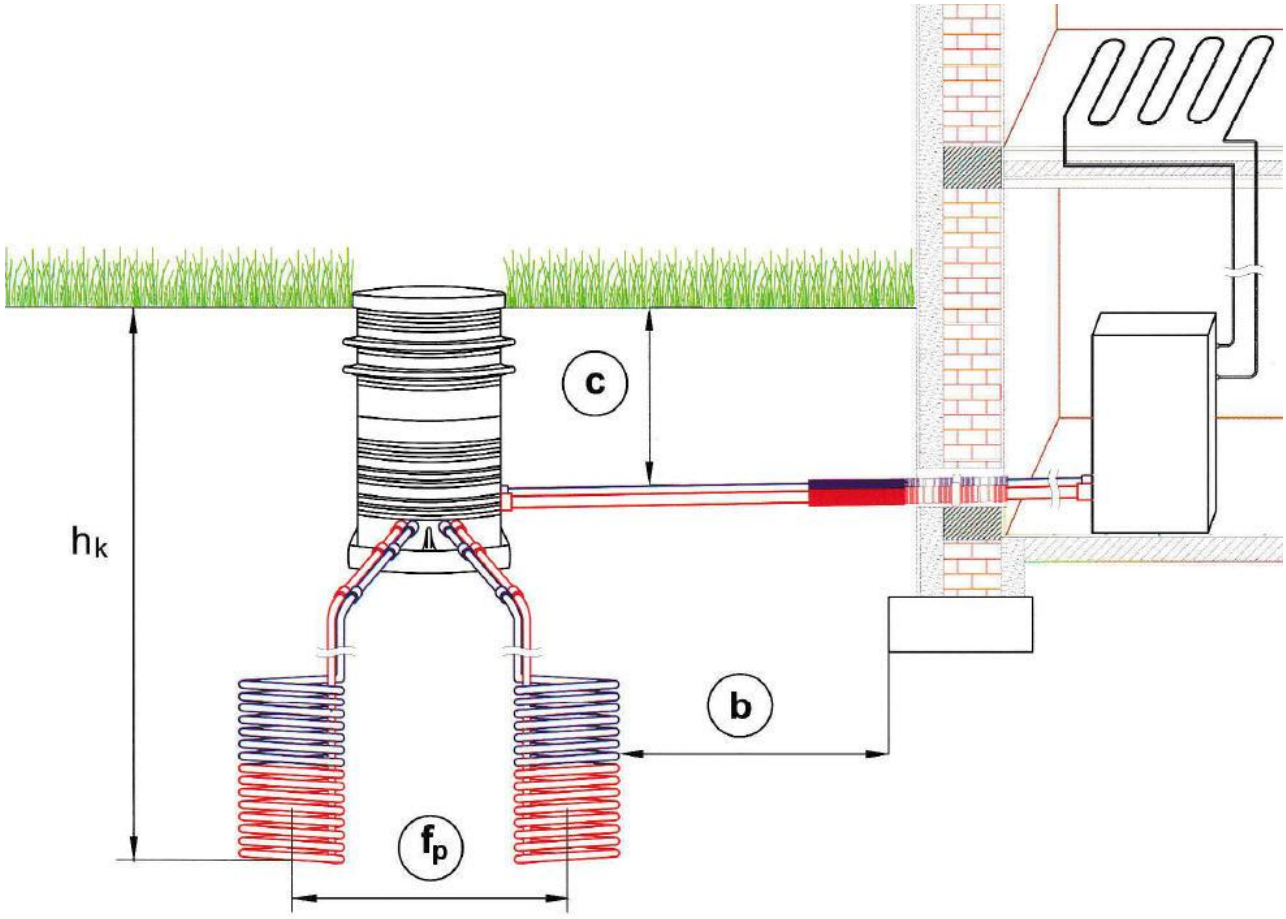
$$\Delta k = 0{,}029 \times T_{sp} - 52{,}4\ [\%]$$

Każdorazowo procedurę doboru liczby koszowych GWC należy uzgodnić z ich dostawcą.

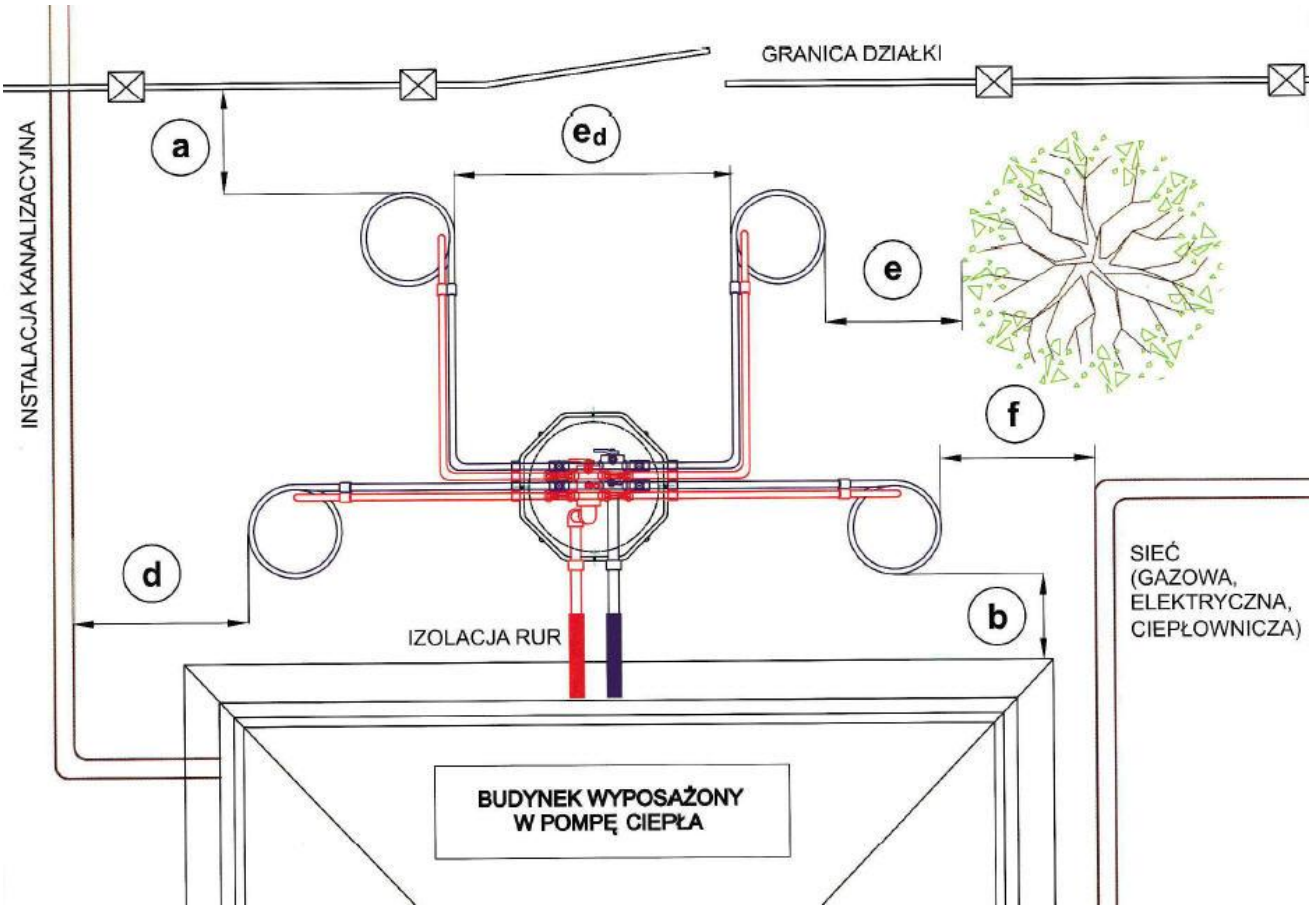
Minimalne odległości od elementów infrastruktury

- od granicy sąsiedniej posesji: a > 3,0 m
- od fundamentów budynku: b > 1,5 m
- głębokość zabudowy, od 20 do 40 cm poniżej strefy przemarzania: 1,0 m < c < 1,8 m (ze spadkiem w kierunku studzienki przyłączeniowej)
- od instalacji wodociągowych, kanalizacyjnej, wody deszczowej: d > 1,5 m

- od korony drzew o głębokich korzeniach: e > 1,5 m
- od instalacji elektrycznych, gazowych, telekomunikacyjnych, ciepłowniczych: f > 1,5 m
- przy krzyżowaniu się rur doprowadzających GWC należy je zaizolować na odcinku: > 3,0 m
- odstęp między rurami doprowadzającymi (osiami rur): e_d > 70 cm (w przypadku nie zachowania tej odległości zaleca się zaizolowanie odcinków rur)
- dopuszcza się montaż koszowych GWC pod budynkiem
- minimalny odstęp miedzy osiami GWC: $f_p \geq 4$ m



Rys. Zalecane odległości – widok z boku.



Rys. Zalecane odległości –widok z góry

Odstęp pomiędzy koszowymi GWC powinien wynosić $f_p \geq 4$ m – przy występowaniu wód gruntowych odstęp ten może być mniejszy.

Koszowe GWC mogą być montowane w różny sposób.
Możliwy jest montaż zespołów do 3 koszowych GWC, które mogą być połączone szeregowo.

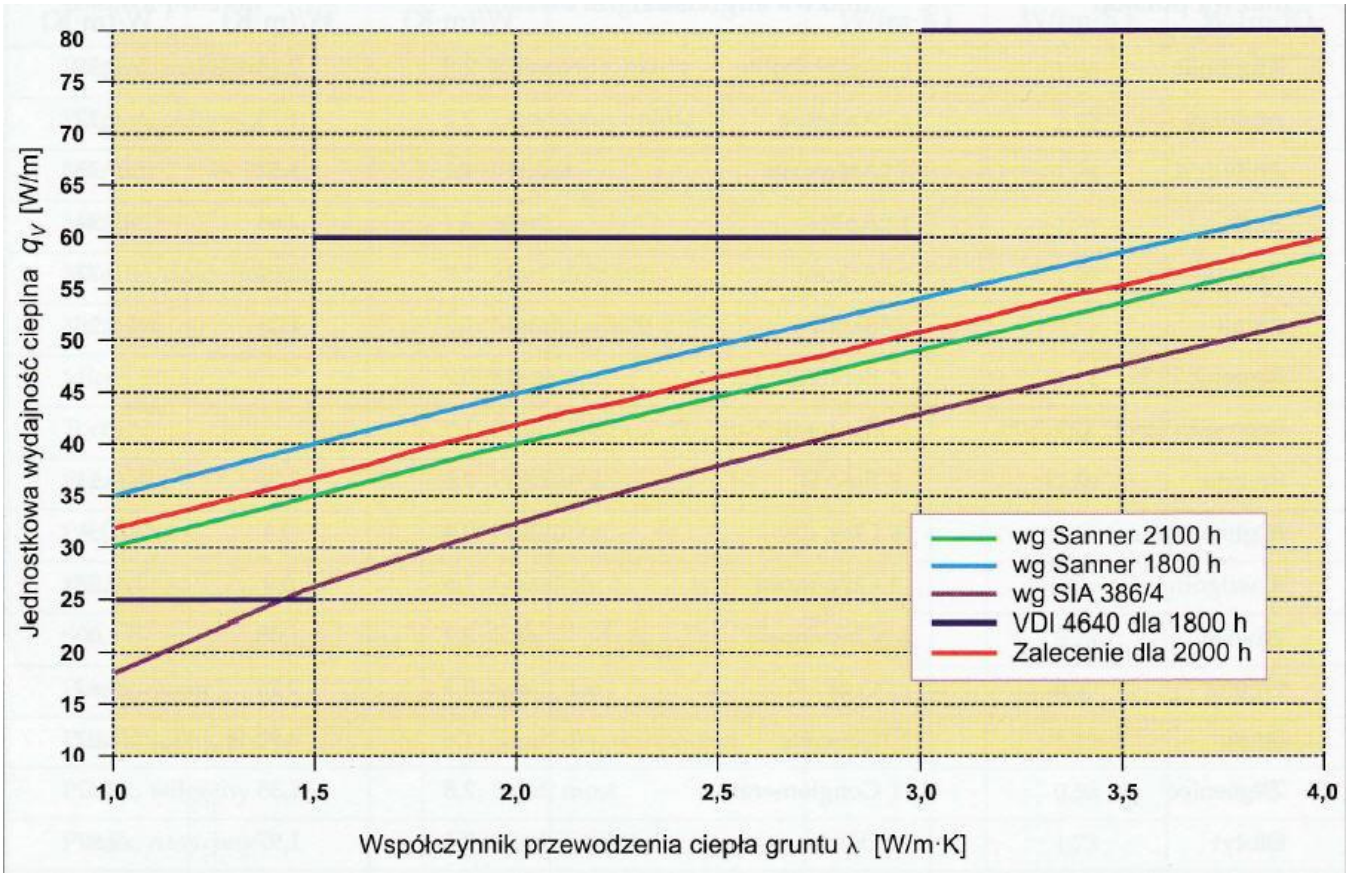
5. Dodatkowe materiały

Wartości współczynnika przewodzenia ciepła niektórych rodzajów gruntu:

Rodzaj gruntu (nazwa polska)	Rodzaj gruntu (nazwa angielska)	Zalecana wartość λ W/(m·K)	Minimalna wartość λ W/(m·K)	Maksymalna wartość λ W/(m·K)
Wapień, marglisty	Limestone, marly	2,2	1,96	2,78
Wapień, oolitowy	Limestone, oolitic	2,4	2,12	3,36
Marmur	Marble	2,6	1,28	3,08
Margiel	Marl	2,1	1,75	3,46
Margiel, dolomiticzny	Marl, dolomitic	2,2	1,89	3,9
Kwarcyt	Metaquartzite	5,8	5,86	5,86
Mica	Micashist	2	1,51	3,14
Torf	Peat	0,4	0,2	0,7
Pegmatyt	Pegmatite	3	2,89	3,31
Perydotyt	Peridotite	4	3,79	5,27
Kwarcyt	Quartzite	6	3,6	6,62
Sól	Salt	5,4	5,28	6,38
Piasek, suchy	Sand, dry	0,4	0,27	0,75
Piasek, suchy, zbity	Sand, dry, compacted	1,2	1,11	1,25
Piasek, wilgotny	Sand, most	1	0,58	1,75
Piasek, nasycony	Sand, saturated	2,4	1,73	5,02
Piasek, zmrożony	Sand, frozen	2	1,25	2,94
Piaskowiec	Sandstone	2,3	1,28	5,1
Serpentyn	Serpentinite	3	2,3	4,31
Łupek ilasty	Shale	2,1	1,5	2,6
Pył, suchy	Silt, dry	0,4	0,38	1
Pył, wilgotny	Silt, moist - wet	1,8	1	2,3
Pyłowiec	Siltstone	2,4	1,31	3,52
Tonalit	Tonalite	2,7	2,2	4,07
Trachit	Trachyte	2,8	2,25	3,55
Tuf	Tuff	1,1	1,12	1,12
Woda przy (0 - 10) °C	Water at (0 - 10) °C	0,6	0,56	0,6
Lód przy (- 10) °C	Ice at (- 10) °C	2,32		
Powietrze (0 - 20) °C	Air at (0 - 20) °C	0,02	0,02	0,03

Rodzaj gruntu (nazwa polska)	Rodzaj gruntu (nazwa angielska)	Zalecana wartość λ W/(m·K)	Minimalna wartość λ W/(m·K)	Maksymalna wartość λ W/(m·K)
Amfibolit	Amphibolite	2,9	2,14	3,55
Andezyt	Andesite	2,2	1,73	2,22
Anhydryt	Anhydrite	4,1	1,52	7,75
Aplit	Aplite	3,1	2,64	3,94
Arkoza	Arkose	2,9	2,54	3,73
Bazalt	Basalt	1,7	1,33	2,29
Bentonit 12 %	Bentonite 12 %	0,7		
Bentonit/Piasek 12%/50%	Bentonite/Sand 12 % / 50 %	1,5		
Brekcja	Breccia	2,8	2,26	4,11
Ił, glina sucha	Clay, dry	0,4	0,4	0,9
Ił, wilgotny	Clay, moist - wet	1,6	0,9	2,22
Iłowiec	Claystone	2,2	1,05	3,02
Węgiel	Coal	0,3	0,26	0,63
Beton	Concrete	1,6	0,92	2,02
Zlepieniec	Conglomerate	2,8	1,35	3,7
Dioryt	Diorite	2,6	1,97	2,87
Dolomit	Dolomite	3,2	2,83	4,34
Gabro	Gabbro	1,9	1,72	2,53
Gneis	Gneiss	2,9	1,89	3,95
Granit	Granite	3,4	2,1	4,07
Granodiorite	Granodiorite	3,3	2,03	3,34
Żwir, suchy	Gravel, dry	0,4	0,39	0,52
Żwir, nasycony	Gravel, saturated	1,8		
Gips	Gypsum	1,6	1,29	
Gyttja (sapropel)	Gyttja (sapropel)	0,6	0,5	0,8
Lód (-10 °C - 0 °C)	Ice at (-10 °C - 0 °C)	2,2	2,2	
Ignimbrite	Ignimbrite	3	2,39	4,07
Lamprofir	Lamprophyre	2,6	2,43	3,41
Wapień, zbity	Limestone, massive	2,8	2,46	3,93

Zestawienie wartości jednostkowej wydajności cieplnej pionowych GWC q_v wg różnych źródeł:



Zestawienie wartości jednostkowej wydajności cieplnej q_v pionowych GWC, zgodnie z VDI 4640 cz.2 (PN-EN 15450:2007E) – dla pomp ciepłą o mocy grzewczej do 30 kW**:**

Rodzaj gruntu	Jednostkowa wydajność cieplna q_v	
	Czas pracy: T_{sp} = 1800 h/rok	Czas pracy: T_{sp} = 2400 h/rok
Ogólne wytyczne:		
Suche podłoże (suchy sedyment i $\lambda < 1.5$ W/(m·K))	25 W/m	20 W/m.
Normalne podłoże i nasycony wodą sedyment 1.5 W/(m x K) < λ < 3.0 W/(m·K)	60 W/m	50 W/m
Stała skała o wysokiej przewodności cieplnej $\lambda > 3.0$ W/(m·K)	84 W/m	70 W/m
Poszczególne rodzaje gruntu		
Suchy żwir lub piasek	< 25 W/m	< 20 W/m
Nasycony wodą żwir lub piasek	65 W/m do 80 W/m	55 W/m do 65 W/m
Żwir lub piasek i silny strumień wody gruntowej	80 W/m do 100 W/m	80 W/m do 100 W/m
Wilgotna glina	35 W/m do 50 W/m	30 W/m do 40 W/m
Masywny wapień	55 W/m do 70 W/m	45 W/m do 60 W/m
Piaskowiec	65 W/m do 80 W/m	55 W/m do 65 W/m
Krzemionkowy migmatyt (np. granit)	65 W/m do 85 W/m	55 W/m do 70 W/m
Bazowy migmatyt (np. bazalt)	40 W/m do 65 W/m	35 W/m do 55 W/m
Dioryt	70 W/m do 85 W/m	60 W/m do 70 W/m

Tabela do doboru rur doprowadzających typu HDPE, PE-X, do transportu solanki, tj. wodnego roztworu glikolu propylenowego i etylenowego:

Glikol propylenowy ok. 33% (temperatura krystalizacji -15 °C)

Moc grzewcza wg PN EN 14511 Q_c [kW]	Moc chłodnicza z COP=4 B0W35 Q_o [kW]	Przepływ obj. dla ΔT=3K V_{cn} [m³/h]	Rura PN 16 HDPE100/PE-X d_n x g [mm]	Średnica wewnętrzna d_w [mm]	Jendostk. opory przepływu R_{cn} [Pa/m]]	Prędkość przepływu w_{cn} [m/s]
5	3,8	1,15	32 x 2,9	26,2	290	0,59
10	7,5	2,31	40 x 3,7	32,6	296	0,77
15	11,3	3,46	50 x 4,6	40,8	287	0,74
20	15,0	4,61	63 x 5,8	51,4	158	0,62
30	22,5	6,93	63 x 5,8	51,4	317	0,93
40	30,0	9,23	75 x 6,8	61,4	224	0,87
50	37,5	11,54	75 x 6,8	61,4	330	1,08

Glikol etylenowy ok. 30% (temperatura krystalizacji -15 °C)

Moc grzewcza wg PN EN 14511 Q_c [kW]	Moc chłodnicza z COP=4 B0W35 Q_o [kW]	Przepływ obj. dla ΔT=3K V_{cn} [m³/h]	Rura PN 16 HDPE100/PE-X d_n x g [mm]	Średnica wewnętrzna rury d_w [mm]	Jendostk. opory przepływu R_{cn} [Pa/m]]	Prędkość przepływu w_{cn} [m/s]
5	3,8	1,19	32 x 2,9	26,2	230	0,61
10	7,5	2,39	40 x 3,7	32,6	250	0,80
15	11,3	3,60	50 x 4,6	40,8	250	0,77
20	15,0	4,77	63 x 5,8	51,4	140	0,64
30	22,5	7,16	63 x 5,8	51,4	280	0,96
40	30,0	9,54	75 x 6,8	61,4	200	0,90
50	37,5	11,93	75 x 6,8	61,4	290	1,12

Wybrane parametry wybranych cieczy niskokrzepnących:

Parametry cieczy niskokrzepnących			1.2-etanodiol (glikol etylenowy)			1.2-propanediol (glikol propylenowy)		
Stan skupienia koncentratu z inhibitorami			płynny			płynny		
Masa właściwa (gęstość) ρ_{cn} [g/cm^3], 20 °C			1,113			1,057		
Temperatura krzepnięcia koncentratu [°C]			-23			-51		
Zawartość koncentratu dla temperatury krystalizacji:								
- 10 °C [Vol. %]			21			25		
- 15 °C [Vol. %]			28			31		
Lepkość kinematyczna koncentratu [mm^2/s]:								
20 °C	0 °C	-10 °C	23	38	69	39	151	352
Lepkość kinematyczna mieszaniny Vol. 33% [mm^2/s]:								
20 °C	0 °C	-10 °C	2,3	4,4	6,6	3,4	8,3	14,7
Lepkość kinematyczna mieszaniny Vol. 25% [mm^2/s]:								
20 °C	0 °C	-10 °C	2,1	3,8	5,4	2,4	5,4	9,5
Ciepło właściwe w temp. 0 °C i zawartości koncentratu Vol. 25% (Vol. 33%) [kJ/kgK]			3,68 (3,53)			3,88 (3,76)		
Przewodność cieplna w temp. 0 °C i zawartości koncentratu Vol. 25% (Vol. 33%) [W/mK]			0,47 (0,42)			0,40 (0,41)		
Ostra toksyczność oralna (LD50) [mg/kg]			na szczurach: > 4 000			na szczurach: 15 000 ÷ 34 000		
Toksyczność rybna (LC_{50}, 96h) mg/l]			karaś złocisty: 1 500			pstrąg tęczowy: > 100 karaś złocisty 48h: 1 400		
Toksyczność na rozwielitkach (Daphnia magna) (EC_{50}, 48h) [mg/l]						Daphnia magna: > 10		
Toksyczność na algach (EC_{50}, 48h) [mg/l]						scenedesmus subspicatus:> 1 000		
Oznaczenie handlowe *			patrz dane producenta			patrz dane producenta		
Zagrożenia			Xn szkodliwy dla zdrowia			-		
Parametry zależne od wody gruntowej			TOC, CSB			TOC, CSB		
Klasa zagrożenia wody (WGK) **			1			1		
Zakres temp. przy stosowaniu długotrwałym [°C]			od -35 do +150			od -25 do +150		
Zakres zastosowań			pompy ciepła, wodne systemy grzewcze, obiegi chłodnicze			pompy ciepła, instalacje chłodnicze, instalacje solarne		