Temat nr 2:

Pompy ciepła, cz.1

25.11.2015

- Zasada działania pompy ciepła
- Źródła ciepła
- Rodzaje pomp ciepła
- Sposób pracy pompy ciepła
- Wizualizacje pracy instalacji

ZAWSZE ZNAJDZIE SIĘ KTOŚ
KTO CI ZROBI NIŻSZĄ CENĘ ZA USŁUGĘ :)

Co to jest ciepło ?

Ciepło jest to forma wewnętrznej energii substancji.

Substancje zawierają energię cieplną, aż **do temperatury zera absolutnego** (0 K = -273,15°C).

Nawet powietrze o temperaturze -20°C zawiera ciepło, które mogą efektywnie wykorzystywać pompy ciepła.

Przepływ ciepła

Jeśli istnieje możliwość oddania energii innej substancji, powstaje strumień ciepła (przepływ ciepła).

Strumień ten płynie zawsze w kierunku temperatury niższej (nigdy odwrotnie).

Przykład przepływu ciepła.
Naczynie wypełnione wrzącą wodą, w temperaturze otoczenia, stygnie tak długo aż osiągnie temperaturę otaczającego je powietrza.

Fizyka pomp ciepła

Pompy ciepła wykorzystują zjawisko przepływu ciepła, ale również zmianę stanu fizycznego substancji.

Przykład.
Jeżeli do gotującej się w naczyniu wody będziemy dalej dostarczać energię (ciepło), to cała woda wyparuje, a jej temperatura nie wzrośnie.

Ilość energii związana ze zmianą stanu fizycznego substancji, jest „tajemnicą”, dzięki której pompa ciepła pozyskuje z „zimnego” źródła energię o użytecznym poziomie termicznym (którą można wykorzystać).

Skraplanie i parowanie

Są to dwa główne procesy zachodzące w pompie ciepła:

- **skraplanie** – stopniowe przechodzenie gazu (mieszaniny gazów), w stan ciekły
- **parowanie** – stopniowe przechodzenie cieczy (lub mieszaniny cieczy), w stan gazowy.

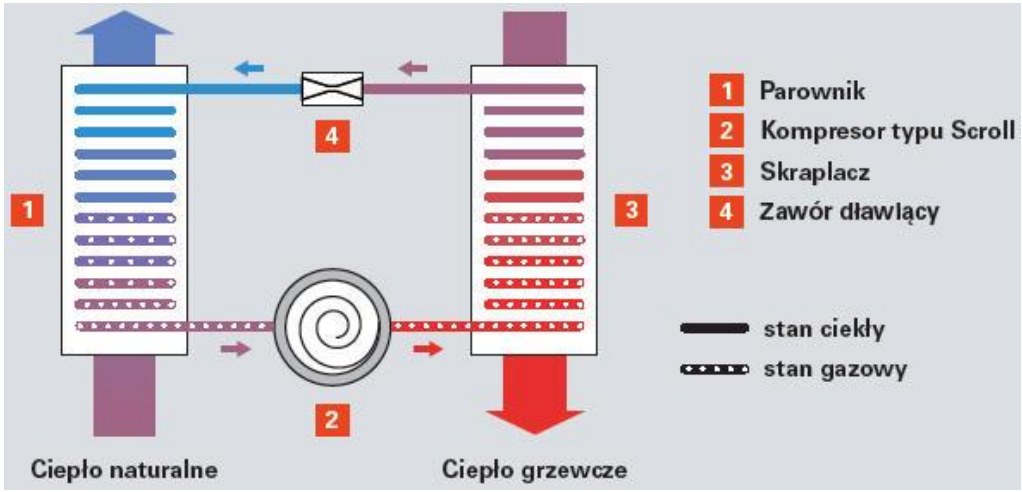
Aby podgrzać 1 litr (kilogram) wody do punktu wrzenia, potrzeba **116 Wh**. Kolejne **627 Wh** są konieczne, aby całkowicie odparować wodę (punkt nasycenia pary wodnej).

Rys. Zawartość energetyczna wody i pary wodnej.

Sposób działania pompy ciepła (PC)

1 – w parowniku, czynnik chłodniczy odparowuje w niskich temperaturach - pochłania ciepło
2 – sprężanie (kompresja) podnosi temperaturę i ciśnienie pary czynnika chłodniczego
3 – w skraplaczu, dzięki kondensacji para czynnika chłodniczego oddaje ciepło
4 – zawór dławiący (rozprężny) - czynnik chłodniczy jest rozprężany, osiąga ciśnienie i temperaturę wyjściową

Parowanie i skraplanie odbywa się przy stałym ciśnieniu.



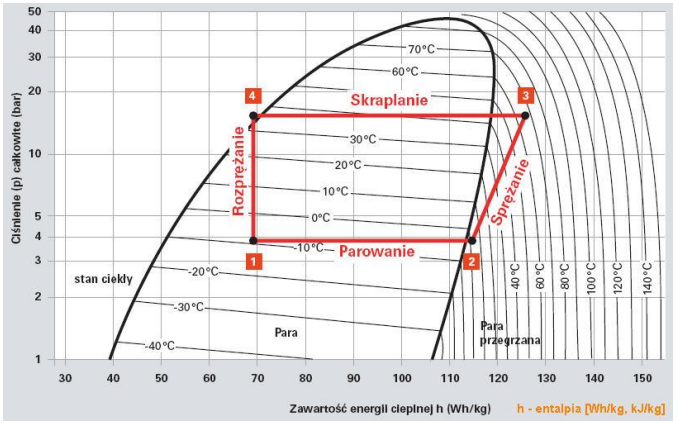
Rys. Zasada działania kompresyjnej PC

Sposób działania pompy ciepła (PC), c.d.

Obieg pracy pompy ciepła, można przedstawić na wykresie logarytmicznym, pokazującym zależność między ciśnieniem czynnika roboczego (chłodniczego), a jego entalpią.

Entalpia – określa zawartość energii w układzie termodynamicznym, oznaczana jako: H, I [kJ; Wh]; entalpia właściwa: h, i [kJ/kg, Wh/kg]. Entalpia, ze starogreckiego: „en” – „w” i „thalpein” – „rozgrzewać”.

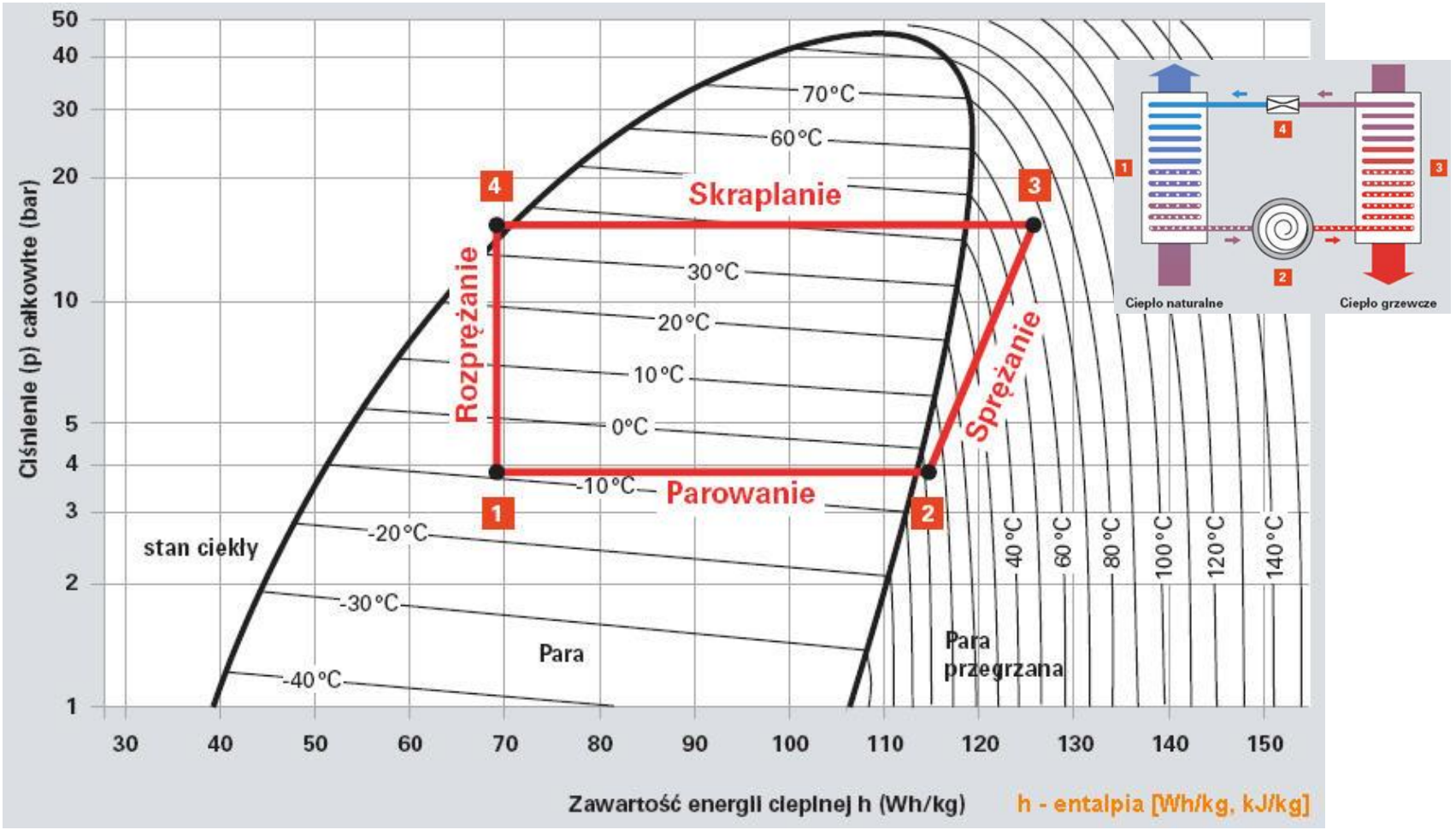
Praktycznie, każde urządzenie chłodzące można wykorzystać również do ogrzewania, a każdą pompę ciepła – do chłodzenia.



Rys. Diagram logarytmiczny czynnika chłodniczego: ciśnienie-entalpia.

Zasada działania pompy ciepła

Sposób działania pompy ciepła (PC), c.d.



Rys. Diagram logarytmiczny ciśnienie-entalpia dla R407C (pompa ciepła A/W)

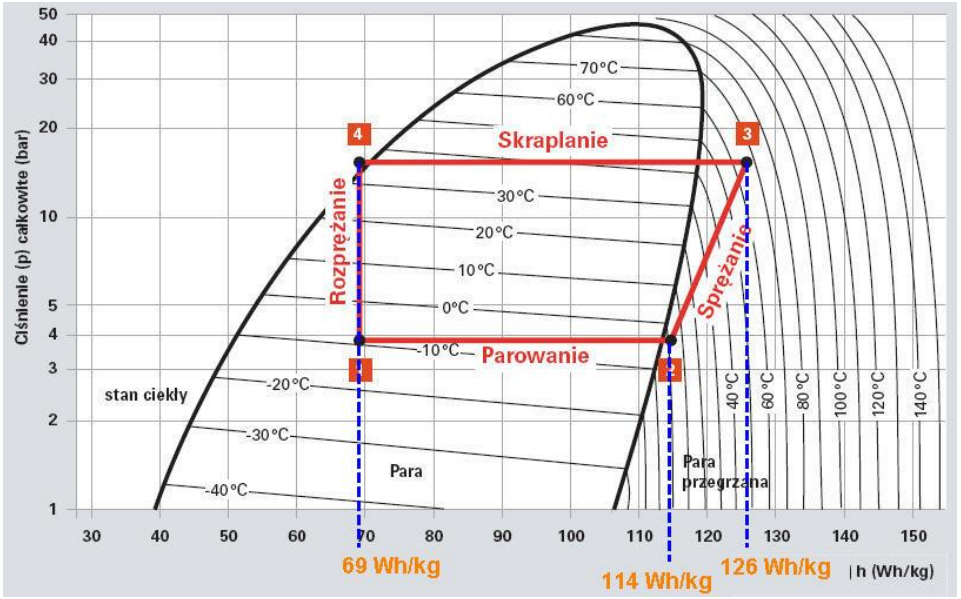
Efektywność pompy ciepła

Współczynnik efektywności PC (wsp. wydajności) – **COP**
Jest to stosunek ilości uzyskanej energii użytecznej (np. ciepła do ogrzewania), do energii włożonej – napędowej (np. energia elektryczna do zasilania sprężarki).

COP (ang. coefficent of performance):

$$COP = \frac{h3 - h4}{h3 - h2}$$

h2 entalpia na początku procesu sprężania
h3 entalpia na końcu procesu sprężania/początek oddawania ciepła
h4 entalpia na końcu procesu skraplania/koniec oddawania ciepła



Rys. Przykład obliczania COP

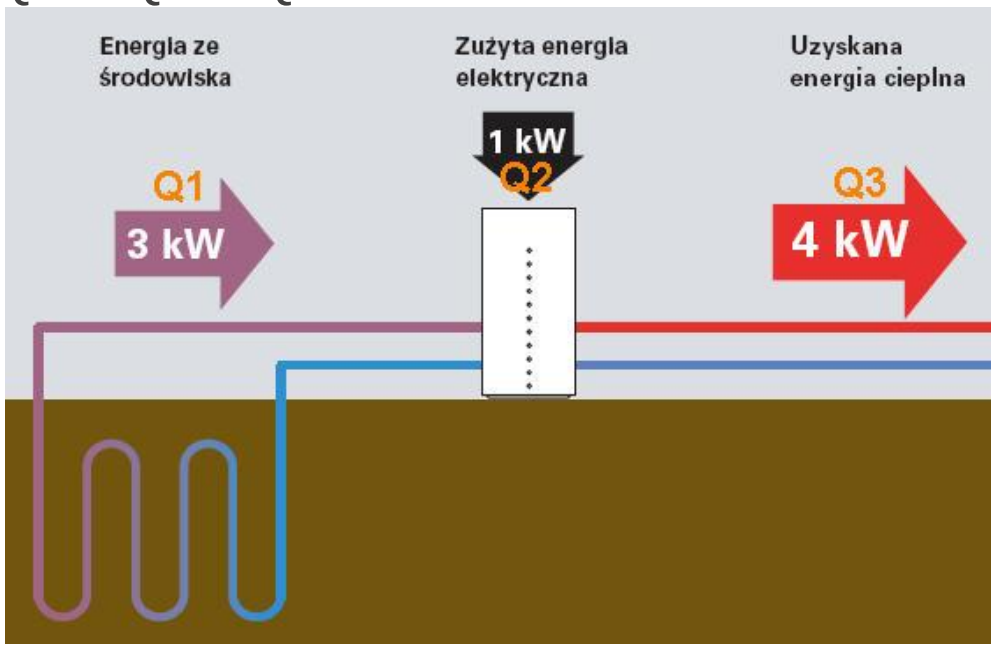
$$COP = \frac{126\ Wh/kg - 69\ Wh/kg}{126\ Wh/kg - 114\ Wh/kg} = 4{,}75$$

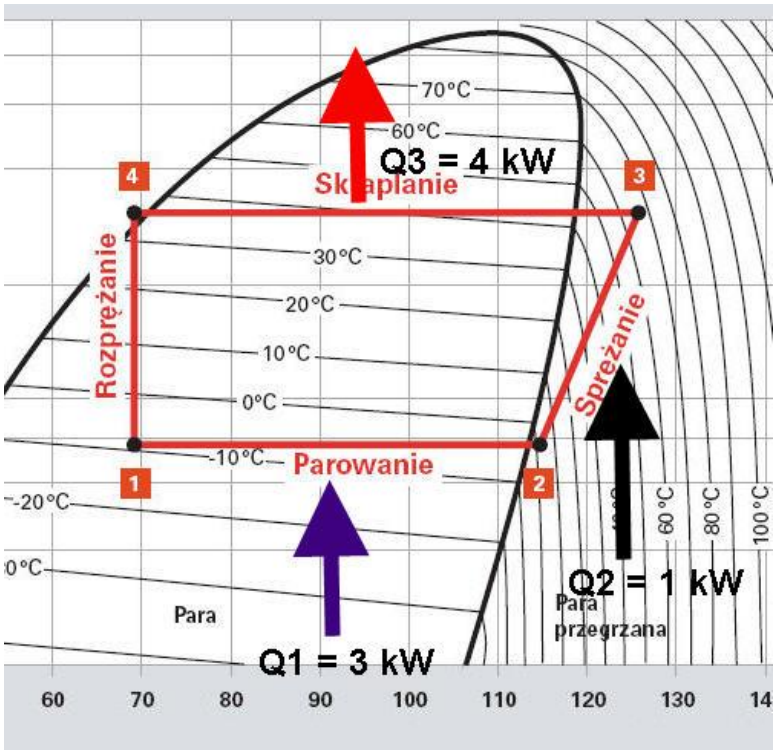
Efektywność pompy ciepła, c.d.

Lub:

COP = Q3 / Q2

Q1 + Q2 = Q3





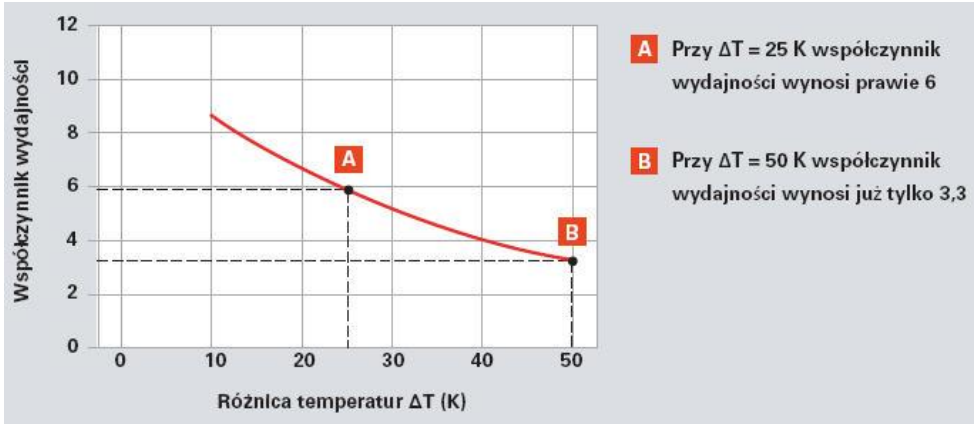
Rys. Przykładowy COP = 4 – ilość uzyskanej energii cieplnej jest 4 razy większa od zużytej energii elektrycznej; **COP =** 4 kW / 1 kW = **4**

Efektywność pompy ciepła, c.d.

Wysokość COP

Im mniejsza jest różnica temperatur pomiędzy temperaturą zasilania obiegu grzewczego i temperaturą wejściową źródła ciepła (ΔT), tym wyższy jest współczynnik wydajności COP (efektywności).

- temperatura zasilania ogrzewania niższa o 1 K – COP wyższy o 2,5%
- temperatura źródła, np. solanki, wyższa o 1 K – COP wyższy o 2,7%



Rys. Zmiana różnicy temperatur a współczynnik efektywności pompy ciepła

Efektywność pompy ciepła, c.d.

Współczynnik efektywności chłodniczej – EER

EER (Energy Efficiency Ratio) – współczynnik, który określa efektywność pompy ciepła, przy pracy w trybie chłodzenia.
Jest to stosunek dostarczonej mocy chłodniczej, do pobranej mocy elektrycznej.

Jeśli EER wynosi 3 to znaczy, że wykorzystując 1 kWh energii elektrycznej dostarczamy do pomieszczenia 3 kWh chłodu (lub usuwamy 3 kWh ciepła).

Efektywność pompy ciepła, c.d.

COP znormalizowany

Współczynniki efektywności (wydajności) pomp ciepła, ustalane są w oparciu o normę DIN PN-EN 14511 i mierzone w ustalonych punktach pracy, w zależności od rodzaju pompy ciepła.

Punkty te określane są przez temperaturę wejściową źródła ciepła do PC – dolne źródło ciepła (powietrza: **A**, solanki: **B**, wody: **W**); i temperaturę zasilania instalacji grzewczej – górne źródło ciepła (na wyjściu z pompy ciepła); schłodzenie wody grzewczej: **5 K**.

Punkty pracy (DIN EN 14511):

Typ	Temperatura wejściowa źródła ciepła	Temperatura zasilania obiegu wtórnego
Powietrze/Woda	A 2 °C	W 35 °C
Solanka/Woda	B 0 °C	W 35 °C
Woda/Woda	W 10 °C	W 35 °C

A – z ang. air (= powietrze)
B – z ang. brine (= solanka)
W – z ang. water (= woda)

Efektywność instalacji z pompą ciepła

Sezonowy współczynnik efektywności: SPF, JAZ, SCOP

COP określa stosunek ciepła użytecznego dostarczonego przez pompę ciepła, do pobranej przy tym energii elektrycznej - w konkretnym punkcie pracy (temperatur), w danej chwili.
Może służyć **do porównania pomp ciepła** różnych producentów – **dla tych samych warunków pracy**.

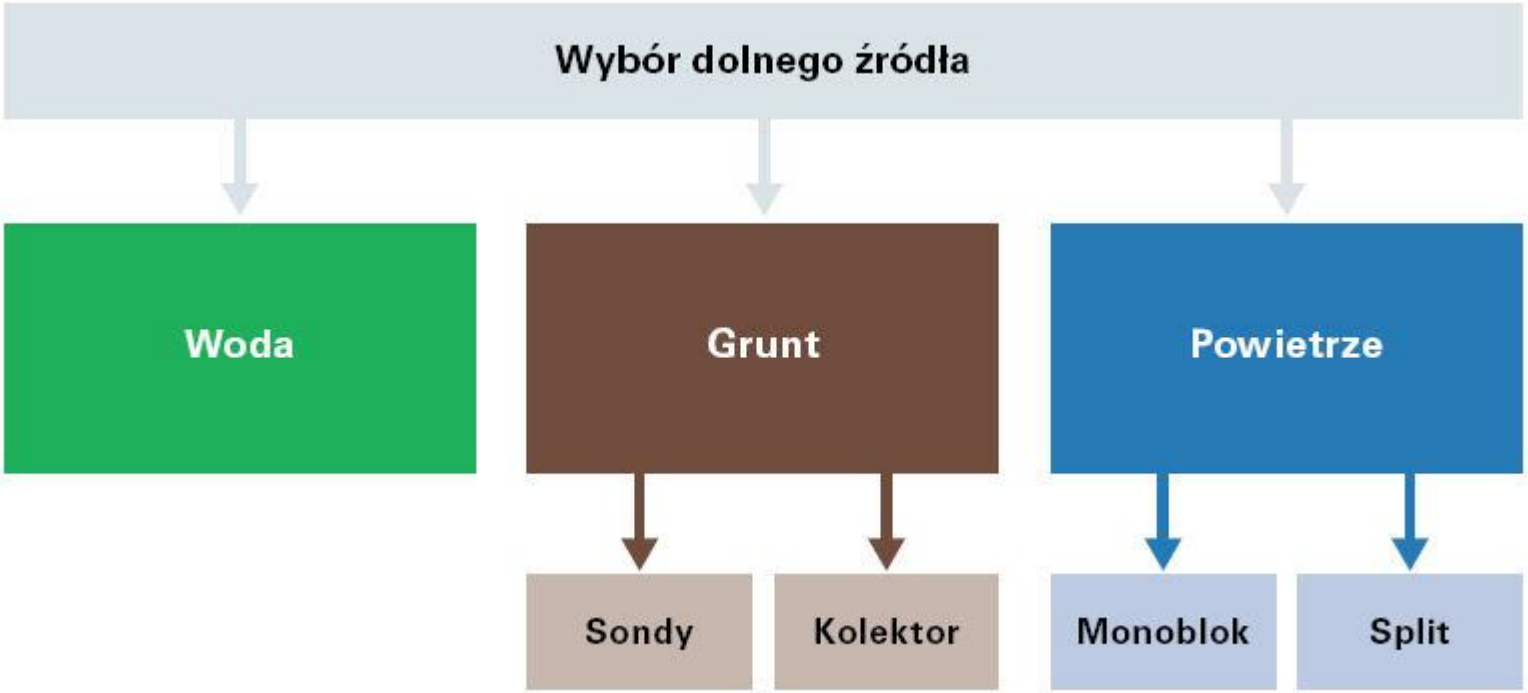
SPF, JAZ, **SCOP** - jest to stosunek dostarczonego ciepła użytecznego, do zużycia energii elektrycznej, ale wykorzystanej przez całą instalację ogrzewania (pompy, grzałki, siłowniki, itp.) - dla określonego przedziału czasu, np.: dla miesiąca, okresu grzewczego, całego roku, itp.

Jest pomocny przy określaniu **efektywności instalacji ogrzewania** budynku z pompą ciepła, tym samym, **do oszacowania kosztów ogrzewania**, np. w ciągu całego roku.

Źródło ciepła dla PC

Rys. Efektywność PC w zależności od źródła ciepła i jego dostępność.

Źródło ciepła dla PC – podział ogólny

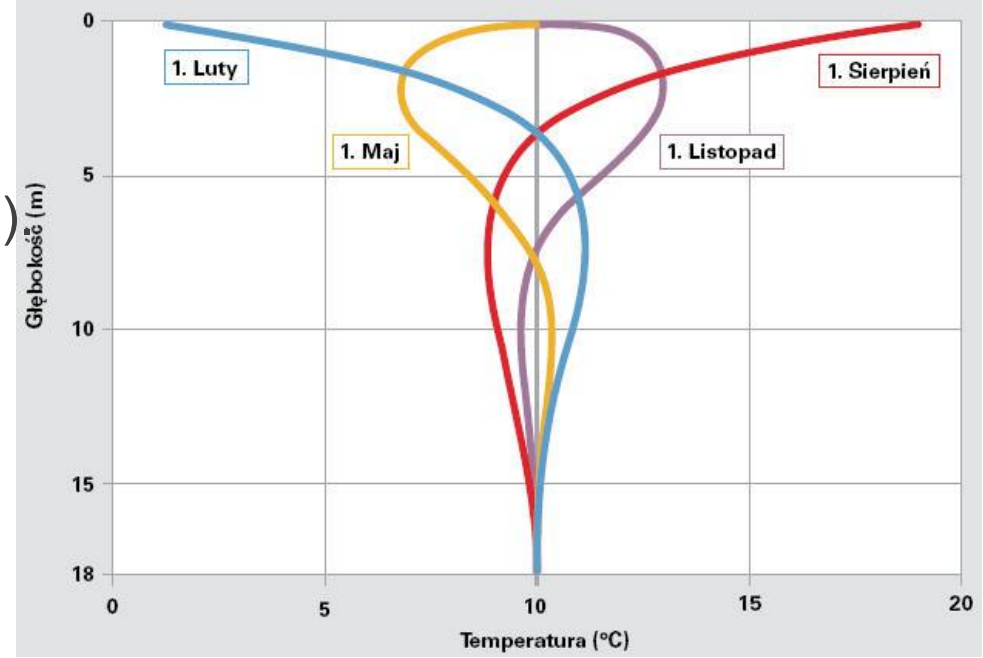


Rys. Wybór dolnego źródła pompy ciepła (PC)

Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW)

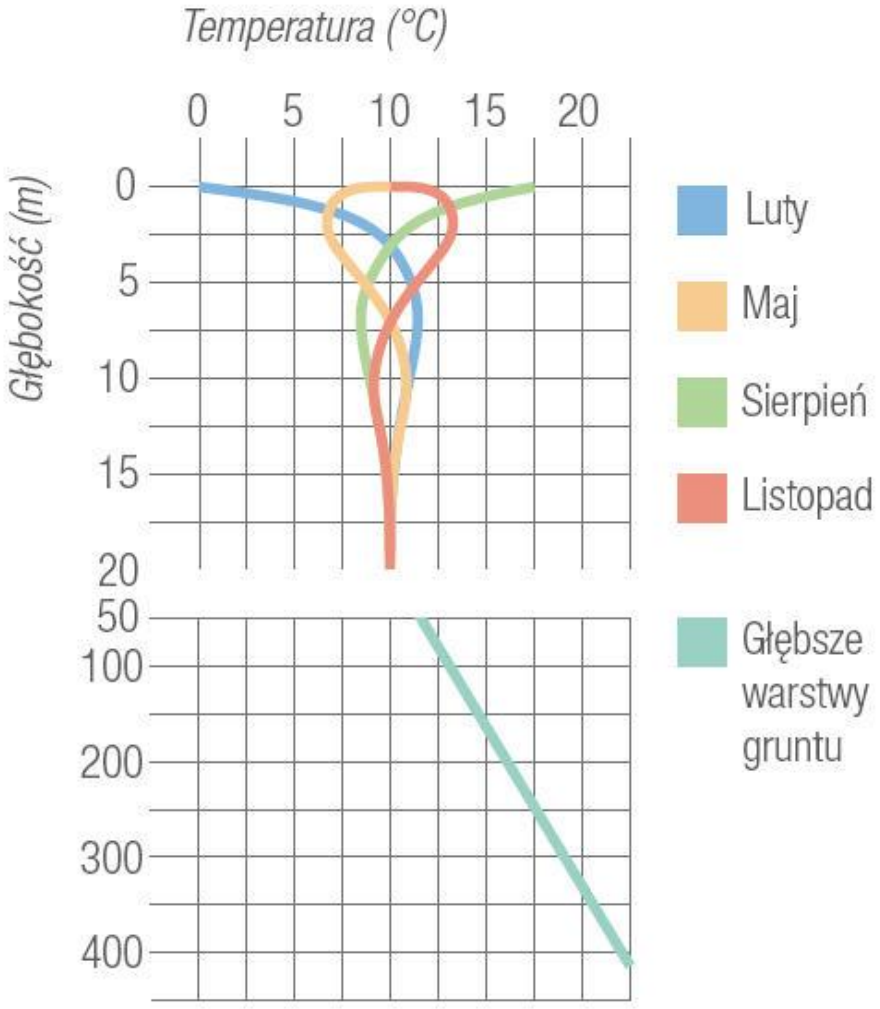
Grunt jest stabilnym źródłem energii cieplnej – np. na głębokości 2 m temperatura gruntu utrzymuje się przez cały rok na stosunkowo równomiernym poziomie: od ok. 7°C do ok. 13°C.

Pozyskiwanie ciepła z gruntu, realizowane jest najczęściej przez tzw. wymiennik gruntowy: rury ułożone poziomo lub pionowo, którymi przepływa „solanka” (mieszanina wody i środka przeciw zamarzaniu).



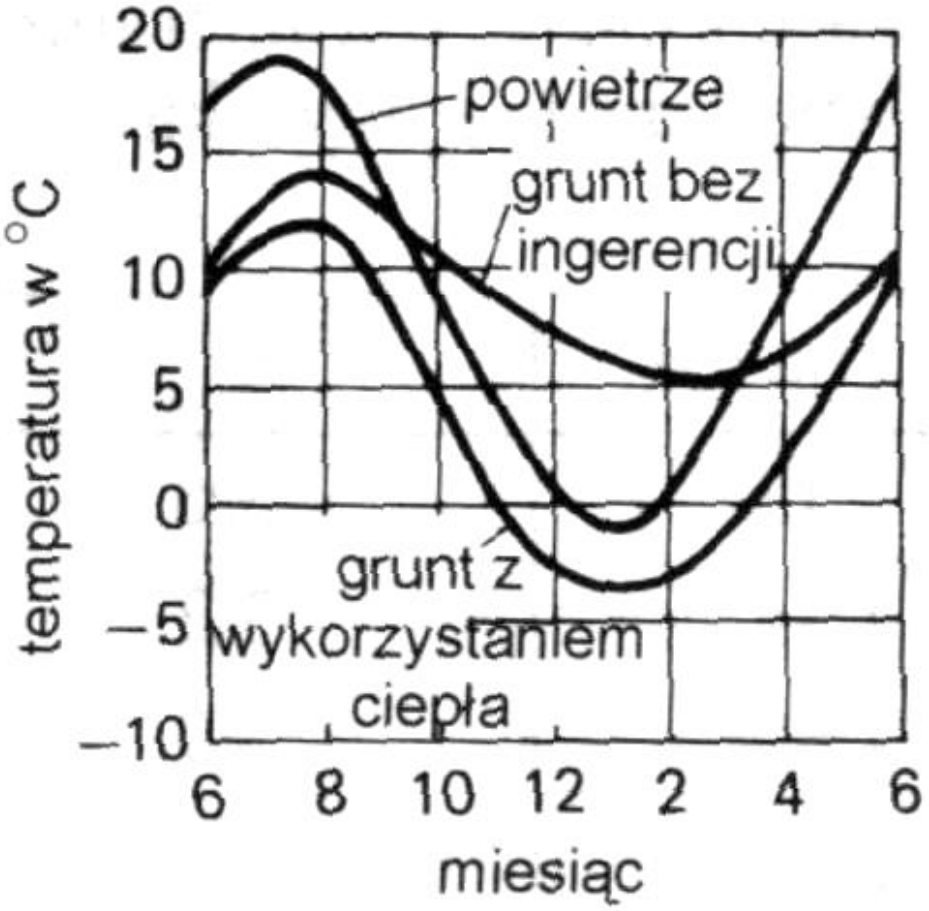
Rys. Rozkład temperatury w gruncie.

Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), c.d.



Rys. Rozkład temperatury w gruncie.

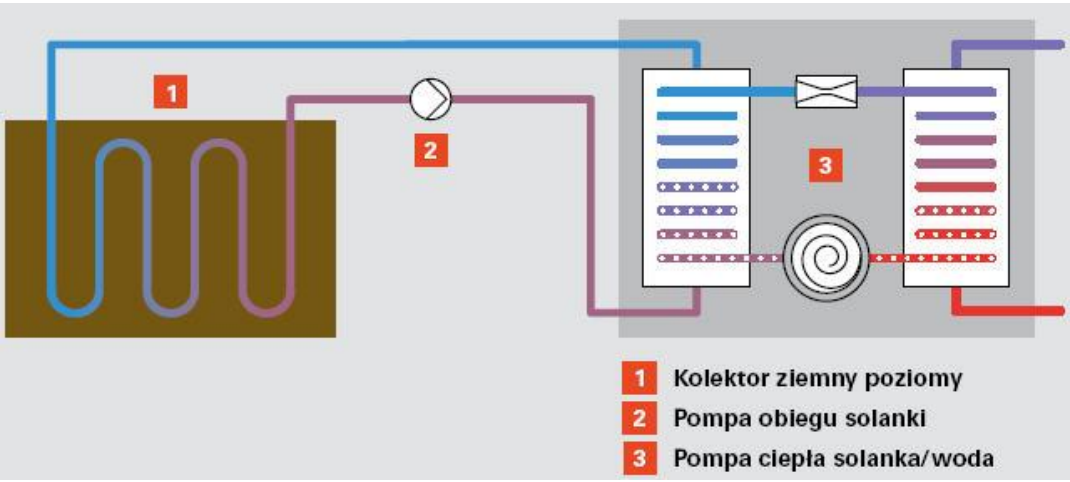
Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), **c.d.**



Rys. Zmiana temperatury gruntu

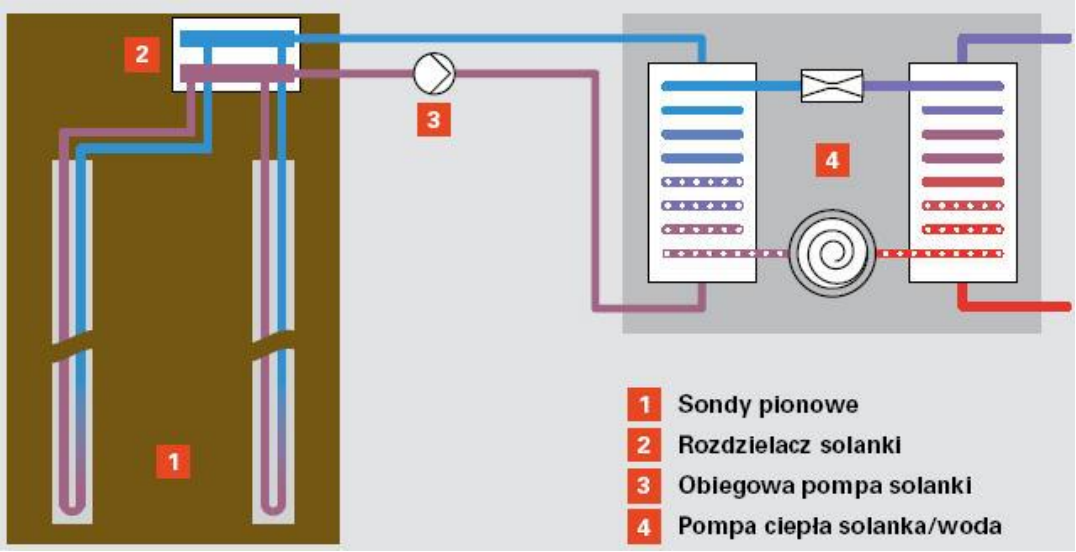
Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), **c.d.**

Wymiennik gruntowy poziomy - kolektor gruntowy:



Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), **c.d.**

Wymiennik gruntowy pionowy – sondy gruntowe:

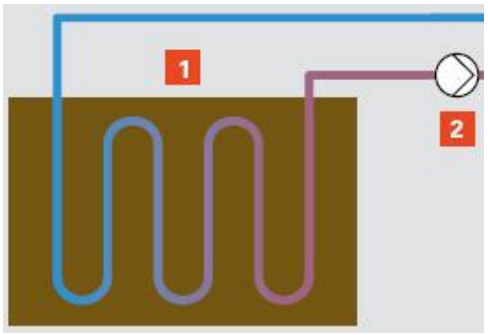


Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), **c.d.**

Wymiennik poziomy – kolektor gruntowy

Kolektory wykorzystują ciepło, które dostarczone zostało do gruntu w wyniku promieniowania słonecznego, opadów deszczu lub z wodą pochodzącą z roztopów. Wykorzystują w miarę stabilną temperaturę gruntu w ciągu całego roku :

- rury z tworzyw sztucznych, zakopane ok. 20 cm poniżej strefy przemarzania gruntu: **od 1,2 do 1,6 m** (większe głębokości są nieuzasadnione ekonomicznie)
- pojedyncze pętle (kręgi): **do100 m długości** – dla uzyskania możliwie niewielkich spadków ciśnienia (>100 m – pompa o większej mocy)
- poszcz. pętle wymiennika łączą się w kolektorze zasilającym i powrotnym



Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), c.d.

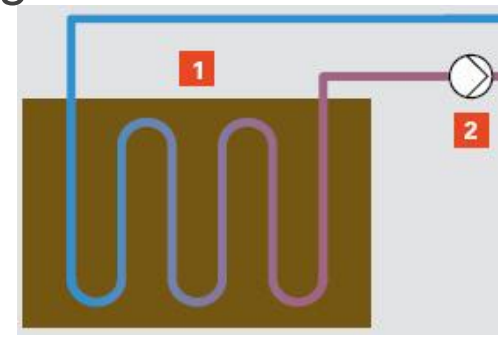
Wymiennik poziomy – kolektor gruntowy, c.d.

- odstępy między rurami określa się tak, aby **uniknąć całkowitego zamarznięcia gruntu**; mamy wówczas pewność, że warstwy lodu, tworzące się wokół rur, nie połączą się ze sobą

Przykład:

- dla rury PE o średnicy DA 20 (DN 15) zalecany odstęp wynosi 30 cm – długość przewodów rurowych wynosi wówczas 3 m na metr kwadratowy powierzchni kolektora (3 m/m2)
- rura PE DA 20 (DN 20), zalecany odstęp: 50 cm, długość: 2 m/m2

DA	DN	Odstęp pomiędzy rurami cm	Długość rury m/m^2
20	15	30	3
25	20	50	2
32	25	70	1,5



Tab. Odstępy pomiędzy rurami w kolektorach gruntowych (poziomych)

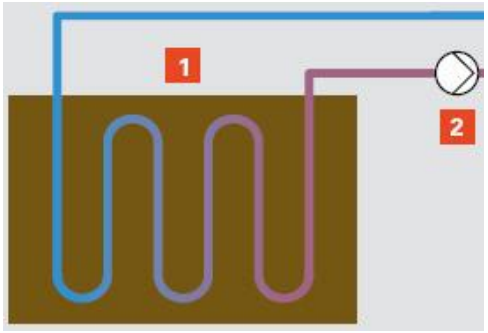
Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), c.d.

Wymiennik poziomy – kolektor gruntowy, c.d.

- im bardziej suche jest podłoże, tym mniejsza jest wydajność poboru ciepła kolektorów ziemnych – trzeba wykonać większy wymiennik

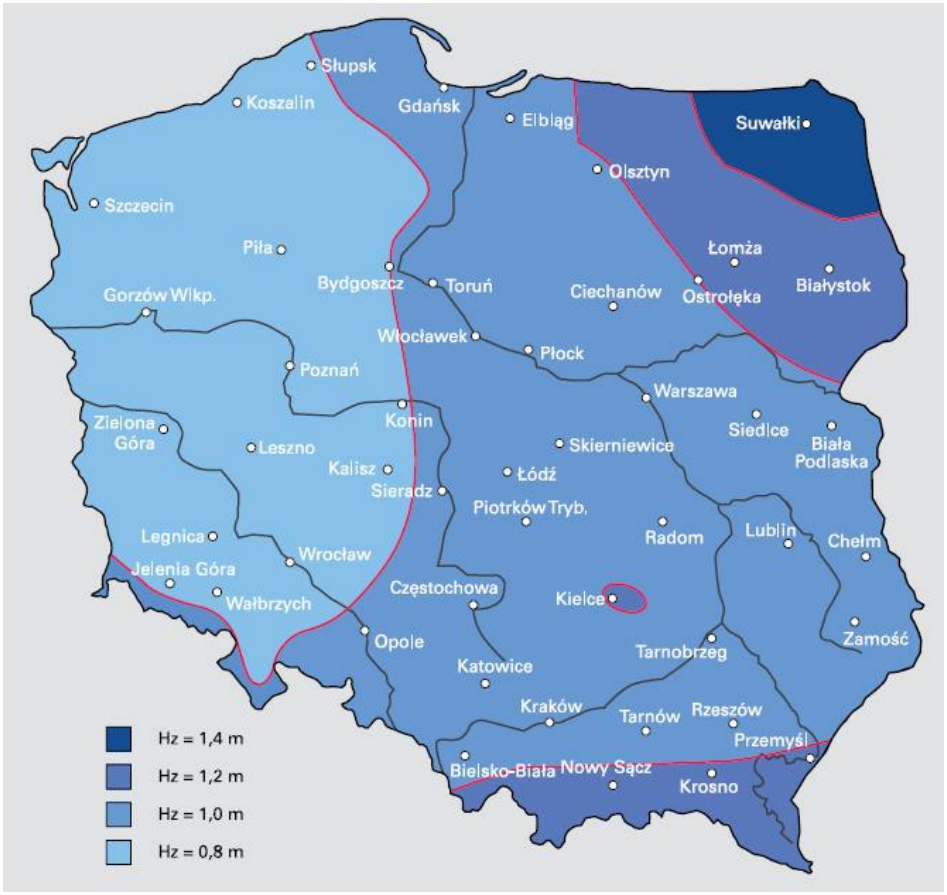
Podłoże	Specyficzna wydajność poboru ciepła	
	w ciągu 1800 h	w ciągu 2400 h
Grunt suchy, niespoisty	10 W/m²	8 W/m²
Grunt spoisty, wilgotny	20–30 W/m²	16–24 W/m²
Piasek, żwir nasycony wodą	40 W/m²	32 W/m²

Teb. Wydajność poboru ciepła z kolektorów poziomych



Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), c.d.

Wymiennik poziomy – kolektor gruntowy, c.d.



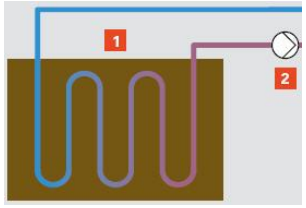
Rys. Kolektor gruntowy - poziomy.

Rys. Strefy przemarzania gruntu w Polsce.

Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), c.d.

Wymiennik poziomy – kolektor gruntowy, c.d.

- na skutek działania pompy ciepła, wokół przewodów rurowych wymiennika poziomego, może okresowo występować niewielkie oblodzenie ziemi – nie ma negatywnego wpływu na działanie instalacji, „ani na rosnące na powierzchni rośliny”
- rośliny o głębokich korzeniach nie powinny być sadzone w pobliżu kolektorów ziemnych – bezpieczeństwo instalacji
- powierzchnia nad kolektorem gruntowym nie powinna być zabudowana czy zabetonowana, żeby umożliwić regenerację gruntu w okresie wiosenno-letnim (magazynowanie ciepła w gruncie)



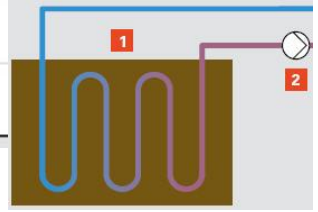
Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), c.d.

Wymiennik poziomy – kolektor gruntowy, c.d.

- właściwości magazynujące i zdolność do przewodzenia ciepła są tym lepsze, im więcej wody i składników mineralnych jest w ziemi i im mniej porowaty jest grunt
- wydajność poboru ciepła z gruntu (ziemi), wynosi od ok. 10 do 35 W/m2

Rodzaj podłoża	Specyficzna wydajność poboru ciepła
Podłoże suche i piaszczyste	15–20 W/m^2
Podłoże wilgotne i piaszczyste	15–20 W/m^2
Podłoże suche i gliniaste	20–25 W/m^2
Podłoże wilgotne i gliniaste	25–30 W/m^2
Podłoże z obecnością wód gruntowych	30–35 W/m^2

Tab. Wydajność poboru ciepła z gruntu.

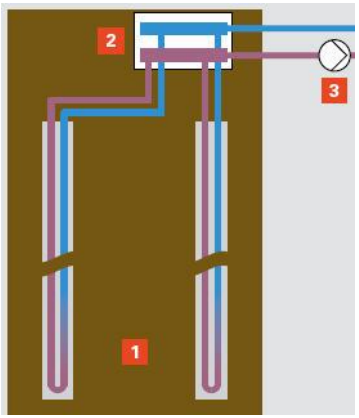


Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), **c.d.**

Wymiennik pionowy – sondy gruntowe

Rury wymiennika ułożone są pionowo w głąb ziemi. Wymiennik wykonywany jest za pomocą specjalnych maszyn wiertniczych:

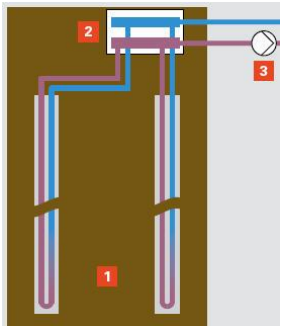
- najczęściej sondy gruntowe wykonuje się do głębokości ok. 100 m
- konieczny jest projekt geologiczny i uzyskanie zgody Urzędu Gminy
- głębsze odwierty – potrzebna jest zgoda Urzędu Górniczego
- w wywiercony otwór wprowadza się sondę (rurę z tworzywa sztucznego), a przestrzeń miedzy rurą a ścianą otworu uzupełnia się substancją wypełniającą



Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), **c.d.**

Wymiennik pionowy – sondy gruntowe, c.d.

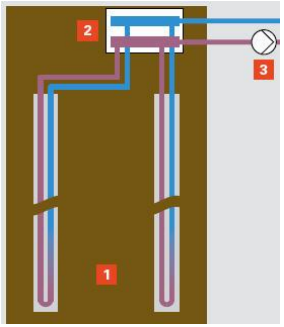
- w zależności od rodzaju gruntu i rozmiaru sondy stosuje się różne typy wierteł
- koszt wykonania wymiennika gruntowego (z sondą, podłączeniem i wypełnieniem), wynosi zwykle od 60 do 120 zł za metr



Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), **c.d.**

Wymiennik pionowy – sondy gruntowe. c.d.

- podstawą projektowania instalacji wymiennika pionowego, jest dokładna znajomość właściwości gruntu, kolejność warstw geologicznych, obecność wód gruntowych lub powierzchniowych – kierunek przepływu cieków wodnych
- średnia wydajność ciepła z sondy gruntowej wynosi do 50 W/m długości sondy; jeśli sonda znajduje się w bogatej warstwie wodonośnej możliwe jest uzyskanie wyższej wydajności poboru ciepła
- pobrany podczas odwiertu rdzeń pozwala określić spodziewaną wydajność poboru ciepła z gruntu i skorygować wielkość obliczeniową wymiennika pionowego; czasem wykonuje się odwierty próbne dla uzyskania dokładnych informacji potrzebnych do zaprojektowania instalacji

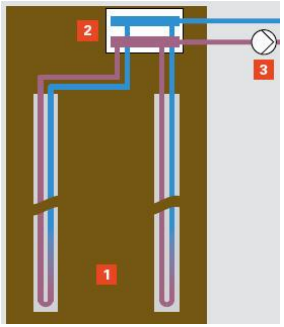


Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), **c.d.**

Wymiennik pionowy – sondy gruntowe. c.d.

- podobnie jak w kolektorach poziomych, czynnikiem transportującym ciepło jest solanka
- sondy gruntowe wykonuje się z rur w kształcie litery „U” – pojedyncza lub podwójna „U-rura”; zasilanie i powrót łączy się w rozdzielaczu solanki

Zdj. Studnia rozdzielaczowa

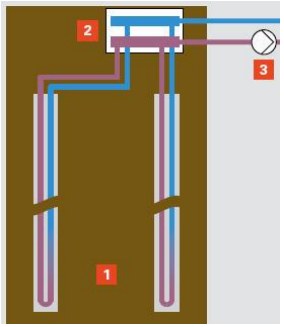


Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), c.d.

Wymiennik pionowy – sondy gruntowe. c.d.

Rodzaj podłoża	Wydajność średnia poboru ciepła
Wskaźniki ogólne	
Słabe podłoże (osad suchy)	20 W/m
Zwarta skała (osad nasycony wodą)	50 W/m
Zwarta skała o dużej przewodności cieplnej	70 W/m
Poszczególne rodzaje gleby	
Żwir, piasek, gleba sucha	< 20 W/m
Żwir, piasek, zawierające wodę	55–65 W/m
Glina wilgotna	30–40 W/m
Wapień, (lity)	45–60 W/m
Piaskowiec	55–65 W/m
Magmatyty kwaśne (np. granit)	55–70 W/m
Magmatyty zasadowe (np. bazalt)	35–55 W/m
Gnejs	60–70 W/m

Tab. Wydajność średnia poboru ciepła – podwójna „U-rura”.



Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), **c.d.**

Rury wymiennika

Do wykonania sond i kolektorów gruntowych wykorzystuje się najczęściej przewody (rury) z tworzyw sztucznych (**PE 100, HDPE** - polietylen wysokiej gęstości, **HDPE RC, PEXa**).

PE 80 i 100 – **klasa materiału**, określana przez współczynnik minimalnej wymaganej wytrzymałości (wsp. MRS). Zastosowanie materiału o wyższym MRS pozwala na zmniejszenie grubości ścianki rury przy zachowaniu określonej wytrzymałości na ciśnienie.

Grubość ścianki rury decyduje o jej wytrzymałości na ciśnienie. Dla rur z tworzyw sztucznych używa się oznaczenia **SDR** (standard dimension ratio).

$$SDR = \frac{DA}{S}$$

SDR Standard Dimension Ratio (współczynnik SDR)
DA średnica zewnętrzna w mm
S grubość ścianki w mm

Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), c.d.

Rury wymiennika, c.d.

Im wsp. SDR jest mniejszy, tym bardziej wytrzymała na ciśnienie jest rura.

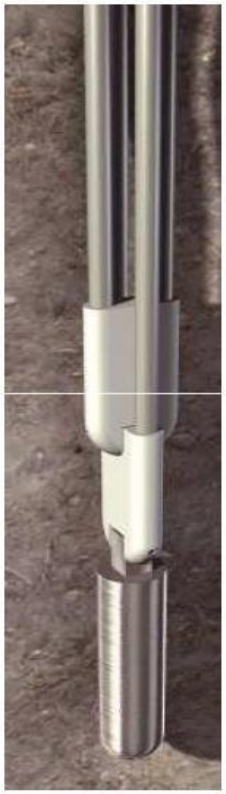
		Grubość ścianki (mm)	
DN	DA	SDR 11	SDR 7,4
15	20	1,9	2,8
20	25	2,3	3,5
25	32	2,9	4,4
32	40	3,7	5,5
40	50	4,6	6,9
50	63	5,8	8,6

Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), c.d.

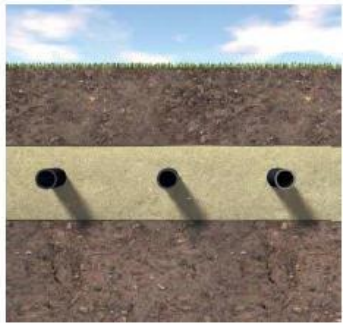
Rury wymiennika, c.d.

Wymienniki gruntowe mogą być również wykonane z rur **PE-Xa** (np. firma REHAU)

PE-Xa



lub



PE 100

Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), c.d.

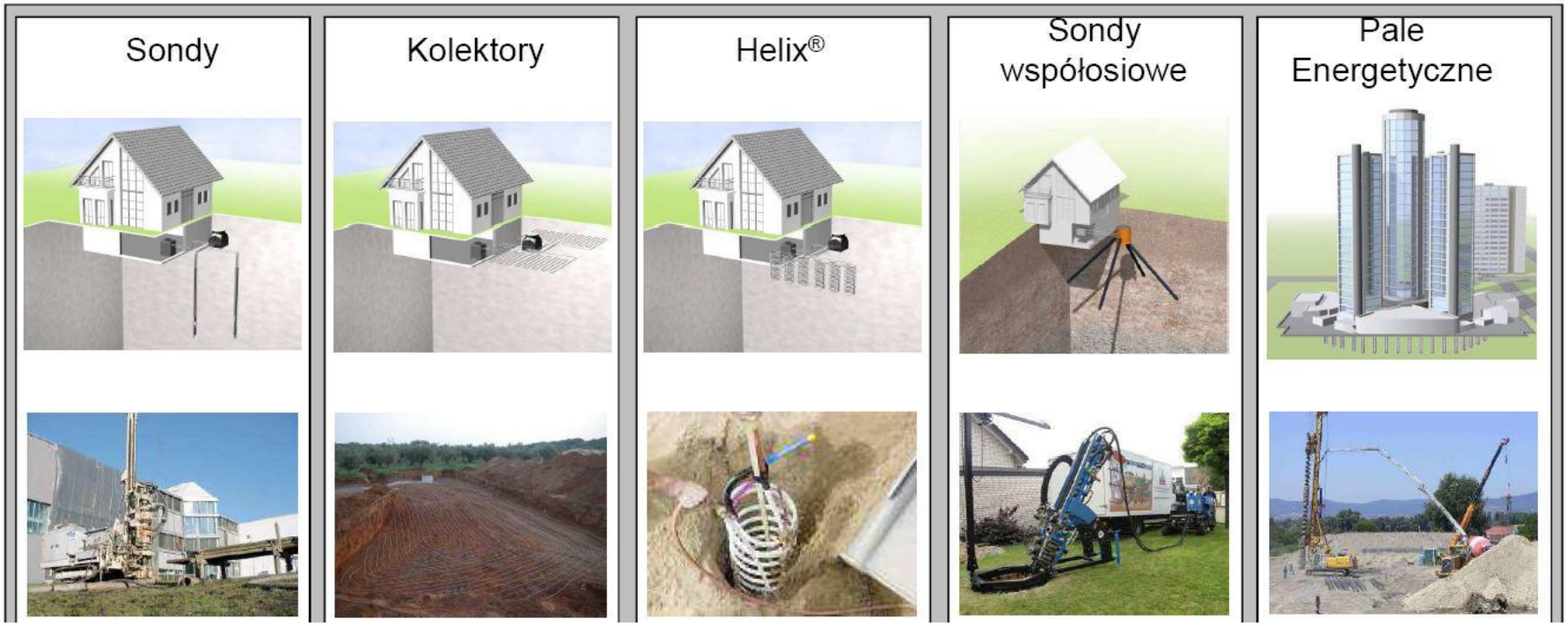
Rury wymiennika, c.d.

Trwałość Rury SDR 11(25x2,3 lub 32x2,9)			
PE–Xa		PE 100	
20 °C	**100 lat** / 15 bar	20 °C	**100 lat** / 15,7 bar
30 °C	**100 lat** / 13,3 bar	30 °C	50 lat / 13,5 bar
40 °C	**100 lat** / 11,8 bar	40 °C	50 lat / 11,6 bar
50 °C	**100 lat** / 10,5 bar	50 °C	**15 lat** / 10,4 bar
60 °C	50 lat / 9,5 bar	60 °C	**5 lat** / 7,7 bar
70 °C	50 lat / 8,5 bar	70 °C	**2 lat** / 6,2 bar
80 °C	25 lat / 7,6 bar	80 °C	-
90 °C	15 lat / 6,9 bar	90 °C	-

Źródło: REHAU

Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), c.d.

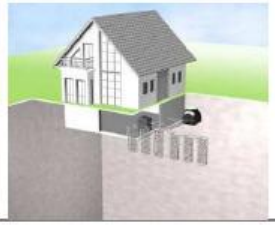
Inne rozwiązania wymienników gruntowych



Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), c.d.

Inne rozwiązania wymienników gruntowych, c.d.

Źródło: REHAU

	Sondy	Kolektory	Sondy spiralne Helix	Sondy współosiowe	Kolumny
					
Wymagane miejsce	Bardzo mało	dużo	średnio	Bardzo mało	brak
Głębokość ułożenia	50 – 300 m	ok. 1,5 m	1,5 – 4,5 m	10 – 50 m	5 – 20 m
Montaż	Firma pecjalistyczna	Firma normalna	Firma normalna	Firma specjalistyczna	Firma specjalistyczna
Koszty ułożenia	wysokie	niskie	średnie	Średnio - wysokie	Bardzo niskie
Możliwość przebudowy	tak	tak	tak	tak	nie
Współczynnik efektywności energetycznej (ogrzewanie)	4 - 4,5	3 – 3,5	3,5 - 4	4 – 4,5	4 – 4,5

Ciepło z gruntu – z ziemi (PC BW), c.d.

Inne rozwiązania wymienników gruntowych, c.d.

Źródło: REHAU

	Sondy*	Kolektory*	Helix®	Sondy Współosiowe	Kolumny*
Grunt suchy piaszczysty	25 W/m	10 W/m²	100-400 W/Helix	25 W/m	25 W/m
Grunt gliniasty suchy	50 W/m	20 - 30 W/m²	400-600 W/Helix	50 W/m	50 W/m
Grunt gliniasty wilgotny	80 W/m	40 W/m²	600-700 W/Helix	80 W/m	80 W/m
Średnia temperatura solanki	0 bis 3°C	-3 bis 5°C	-3 bis 5°C	0 bis 3°C	2 bis 8°C

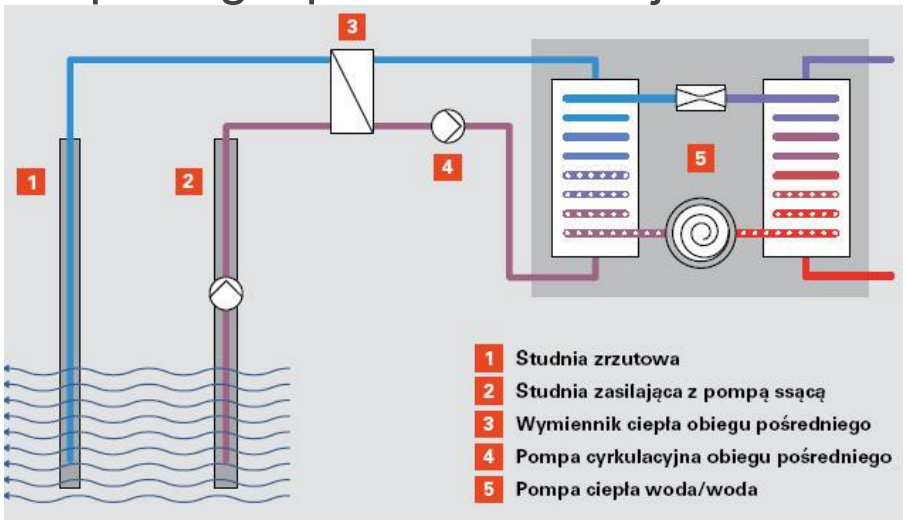
* Przy założeniu 1800 godzin pracy na rok (zgodnie z VDI 4640)

Ciepło z wody (PC WW)

Nawet w czasie chłodnych zimowych dni, woda gruntowa utrzymuje stałą temperaturę, na poziomie: od 7 do 12°C.
Woda gruntowa pobierana jest ze studni zasilającej i transportowana do parownika pompy ciepła. Po odebraniu ciepła, schłodzona woda odprowadzana jest do studni zrzutowej.
Wykorzystanie wody gruntowej lub powierzchniowej, wymaga zezwolenia odpowiedniego urzędu, najczęściej do spraw gospodarki wodnej.

Jakość wody gruntowej może przekraczać wartości graniczne producenta urządzenia. Dlatego, często stosuje się pośrednie wymienniki ciepła (obieg pośredni), np. płytowe skręcane lub lutowane.

Obieg pośredni – napełniony solanką, niższe COP, ale pełna ochrona parownika pompy ciepła.

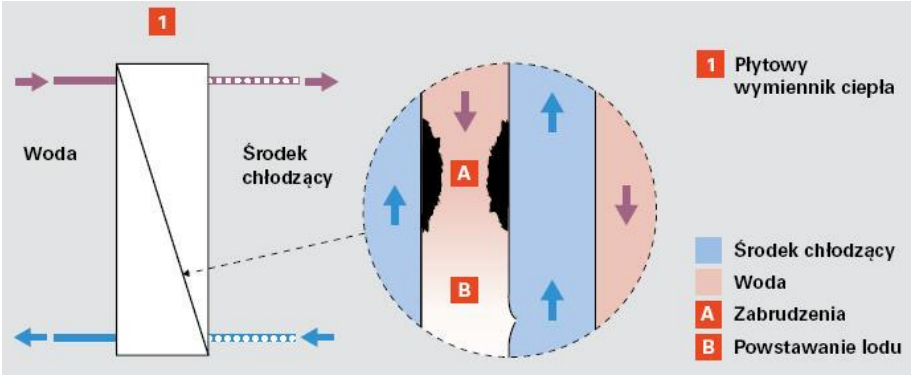


Rys. PC woda/woda (WW), z obiegiem pośrednim

Ciepło z wody (PC WW), **c.d.**

Podstawą wyboru wody gruntowej jako źródła ciepła, jest określenie, czy wydajność studni jest wystarczająca. Do stałej dyspozycji powinno być **205 l/h** wody **na kW** mocy chłodniczej PC.

Miejscowe zanieczyszczenia, poprzez swoje tamujące działanie, powodują częściowe zamarzanie wody. W ten sposób zmniejsza się prędkość strumienia, temperatura wody spada poniżej punktu zamarzania i tworzą się korki lodowe. Może to prowadzić do rozsadzenia wymiennika ciepła, co z kolei pociąga za sobą nieodwracalne uszkodzenia obiegu chłodzenia.

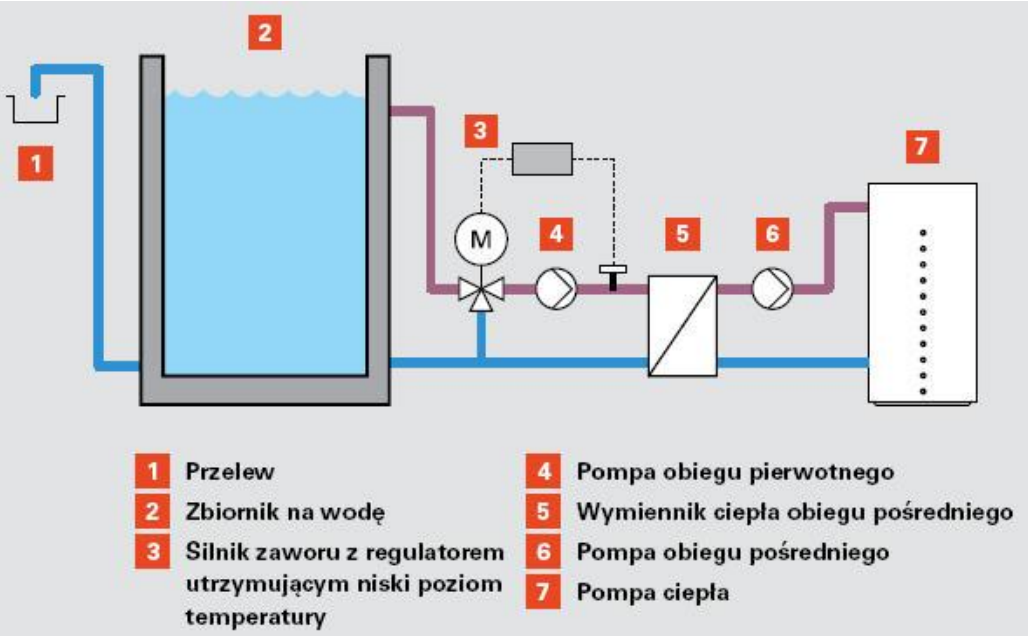


Rys. Zagrożenia dla płytowego wymiennika ciepła.

Ciepło z wody (PC WW), **c.d.**

Obieg pośredni gwarantuje wysokie bezpieczeństwo pracy instalacji. Również dlatego, że jakość wody gruntowej może ulegać zmianie przez cały okres użytkowania instalacji.

Woda z procesu technologicznego – należy unikać przekroczenia maksymalnej dopuszczalnej temperatury obiegu pierwotnego: +25°C.

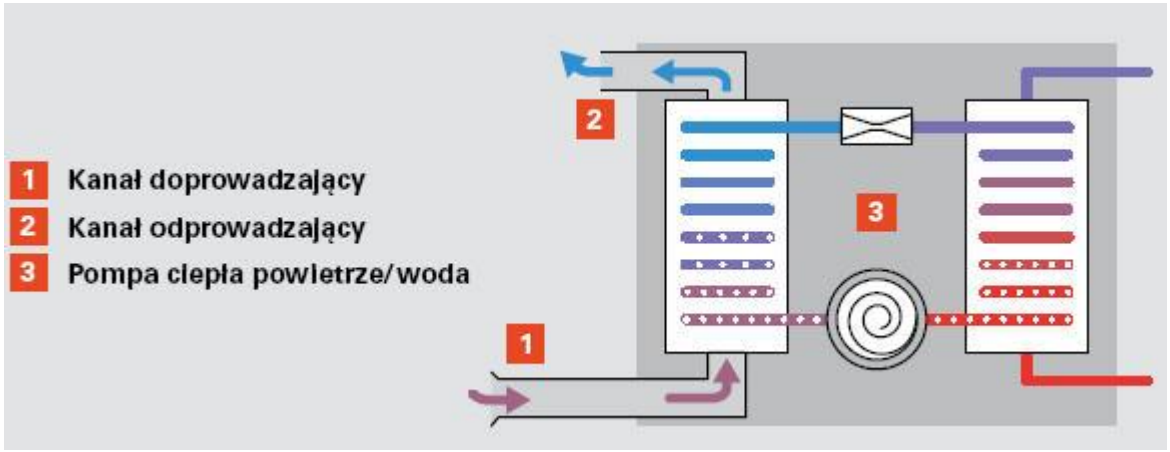


Rys. Woda chłodząca jako źródło ciepła.

Ciepło z powietrza (PC AW)

Wykorzystanie powietrza jako źródło ciepła wymaga najmniejszych nakładów inwestycyjnych, w porównaniu z uzbrojeniem terenu. Powietrze jest zasysane, schładzane w parowniku, a następnie ponownie odprowadzane do otoczenia.

- nowoczesne pompy ciepła są w stanie wykorzystać ciepło z powietrza o temperaturze **-20°C** – pracują z **COP > 2**



Rys. Pompa ciepła powietrze-woda (AW), ustawiona wewnątrz budynku

Zdj. Pompa AW, ustawiona na zewnątrz budynku

Ciepło z powietrza (PC AW), c.d.

- nawet najefektywniej pracująca PC AW, najczęściej nie jest w stanie pokryć całego zapotrzebowania na ciepło budynku – wymaga wspomagania dodatkowym źródłem ciepła, np. grzałką elektryczna, kotłem gazowym, olejowym, na paliwo stałe

- hałas – pompy ciepła AW przetłaczają spore ilości powietrza (3.000 do 4.500 m3/h), w związku z tym, przy projektowaniu instalacji należy uwzględnić związany z tym poziom hałasu

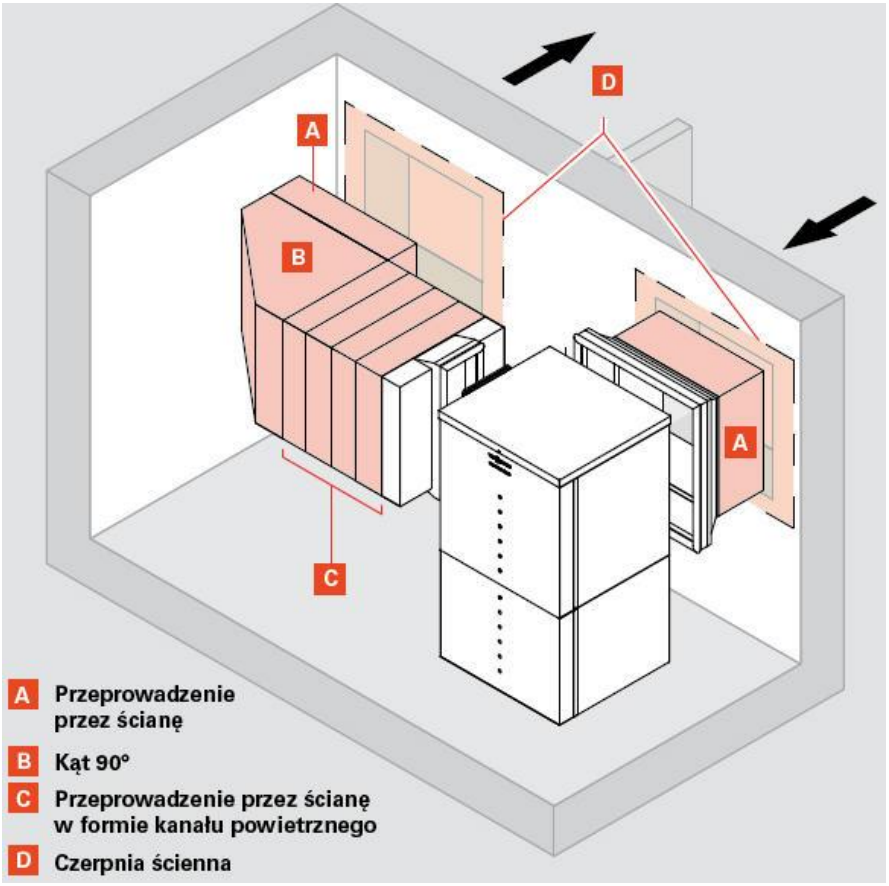
- PC AW mogą zostać zamontowane wewnątrz, na zewnątrz budynku, lub tu i tu – urządzenia typu Split składające się z jednostki wewnętrznej i zewnętrznej

- stosowane są PC AW z regulacją mocy, jak i bez takiej regulacji (wymagany bufor).

Rys. Pompa ciepła AW Split, Vitocal 200-S

Ciepło z powietrza (PC AW), c.d.

Pompy AW montowane wewnątrz budynku – powietrze doprowadzane i odprowadzane jest systemem kanałów, np.:



Rys. Przypływ powierza wewnętrznej pompy ciepła AW

Ciepło odpadowe

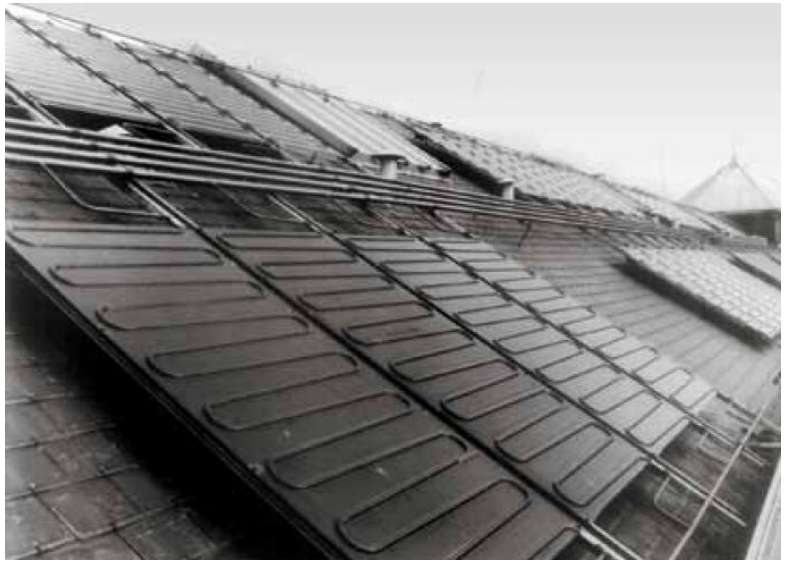
Pompy ciepła mogą wykorzystywać również ciepło odpadowe np. z zużytego powietrza, ścieków, wody z procesu technologicznego itd..

Rys. Wykorzystanie ścieków jako źródło ciepła dla PC

Instalacje solarne

Do podniesienia temperatury po stronie pierwotnej PC można użyć kolektory słoneczne lub absorbery nieprzeszklone – podnosi to efektywność pracy pompy ciepła, jednak korzyści nie równoważą niezbędnych nakładów technicznych i finansowych.

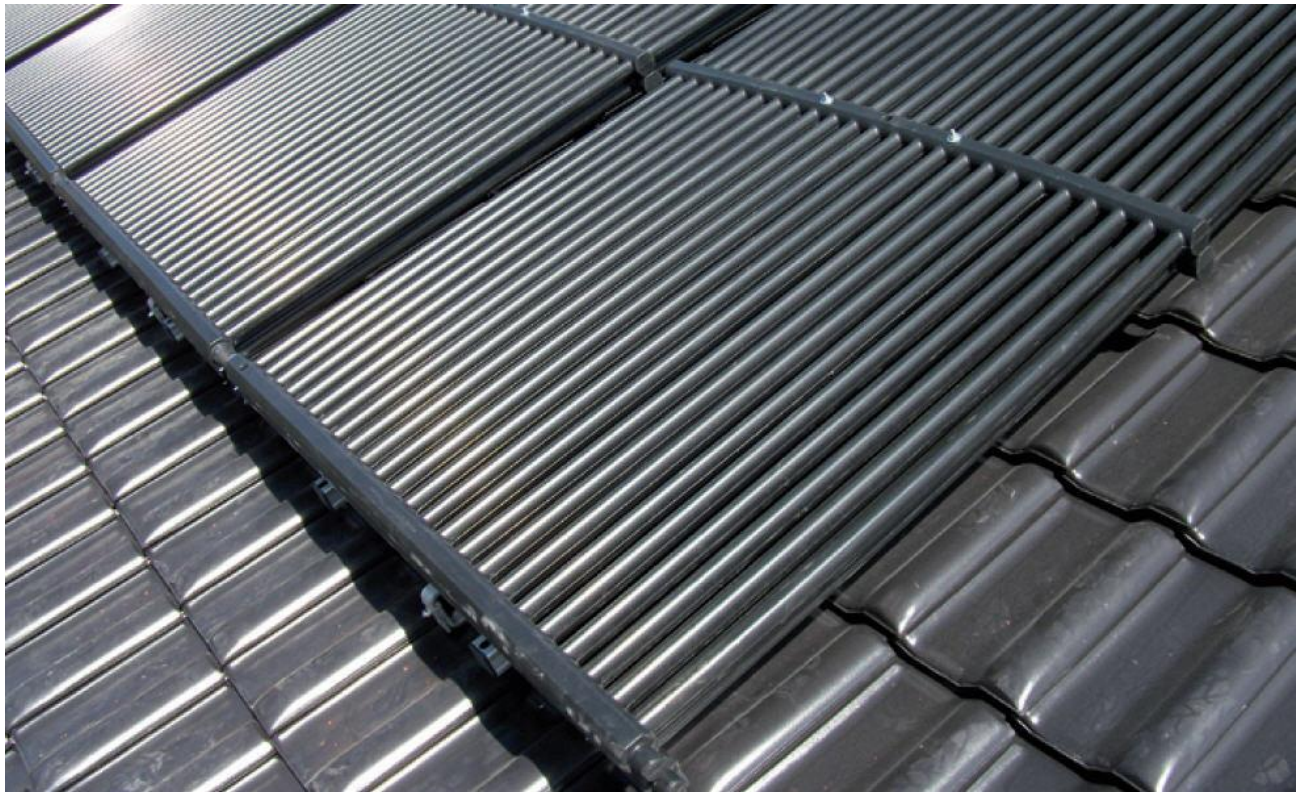
Połączenie instalacji solarnej i pompy ciepła umożliwia natomiast wykorzystanie zmiany faz w zasobnikach ciepła.



Zdj. Absorbery nieprzeszklone, wykorzystujące jako źródło ciepła promieniowanie słoneczne i temperaturę otoczenia.

Instalacje solarne; c.d.

Absorber pobiera ciepło głównie z powietrza (w dzień jak i w nocy)



Zdj. Absorber z rur z tworzywa, w formie harfy

Instalacje solarne; c.d.

Absorber pobiera ciepło głównie z powietrza (w dzień jak i w nocy)

Zdj. Absorber w formie wężownicy, położonej na dachu.

Zasobniki ciepła – zmiana „faz”

„Ogrzewanie lodem”

Zdj. Zasobnik ciepła – energii pierwotnej, 10m3

Zasobniki ciepła – zmiana „faz”; c.d.

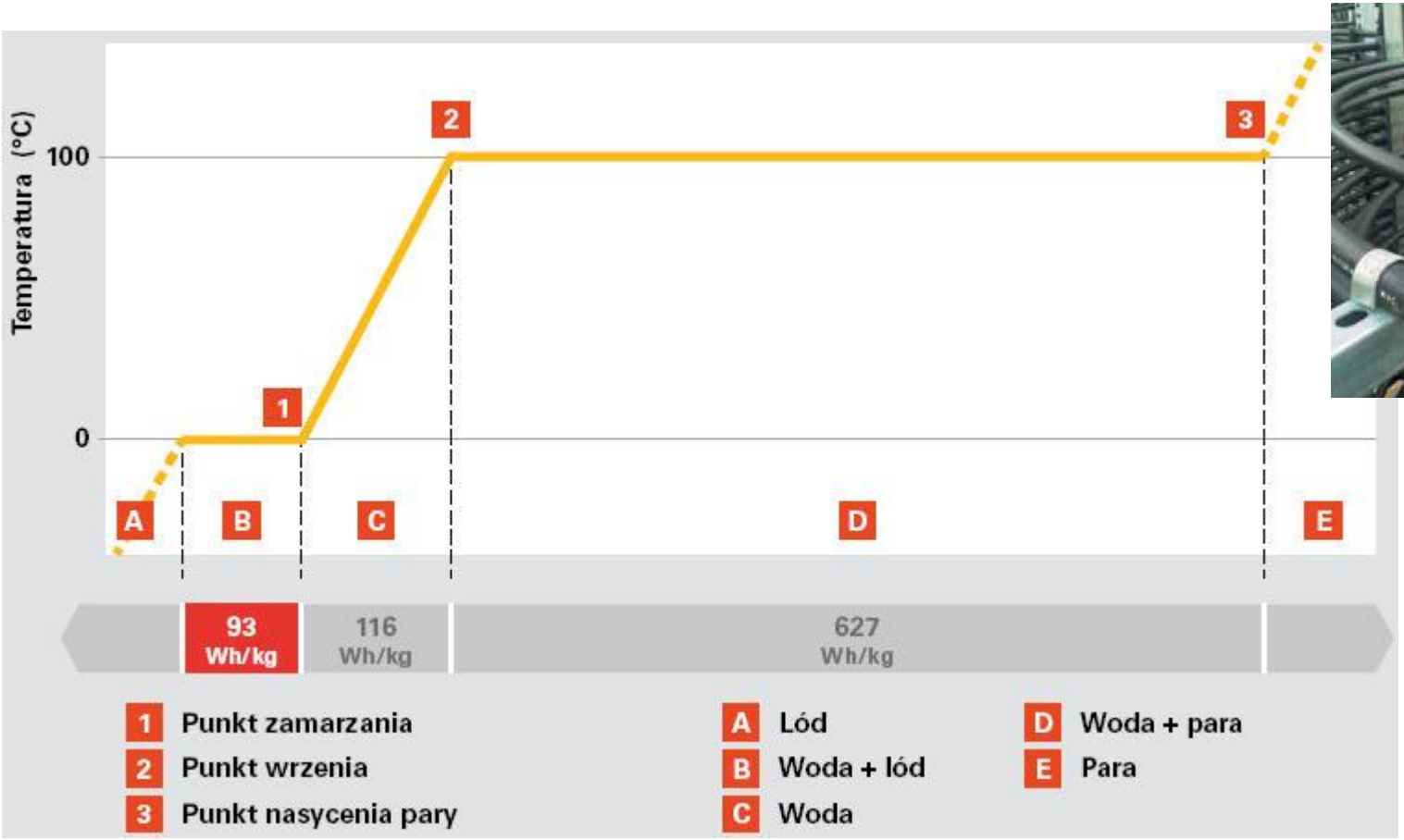
Wykorzystują zmianę faz do gromadzenia ciepła (magazynowania ciepła), po stronie pierwotnej pompy ciepła.

Jako źródło ciepła dla PC wykorzystywana jest **entalpia krzepnięcia**. Regeneracja zasobnika (topnienie), następuje przy udziale ciepła z otoczenia i instalacji solarnej.
Obok wody (lodu), można również zastosować np. parafinę.

„*W praktyce okazało się, że wykorzystanie jako źródła pierwotnego kombinacji zasobników ciepła opartych o przemianę fazową oraz absorberów zasilanych energią słoneczną, prowadzi do powstania bardzo efektywnych systemów*”.

Zdj. Zasobnik ciepła - wykorzystanie przemiany fazowej wody-w lód jako źródło ciepła

Zasobniki ciepła – zmiana „faz”, c.d.

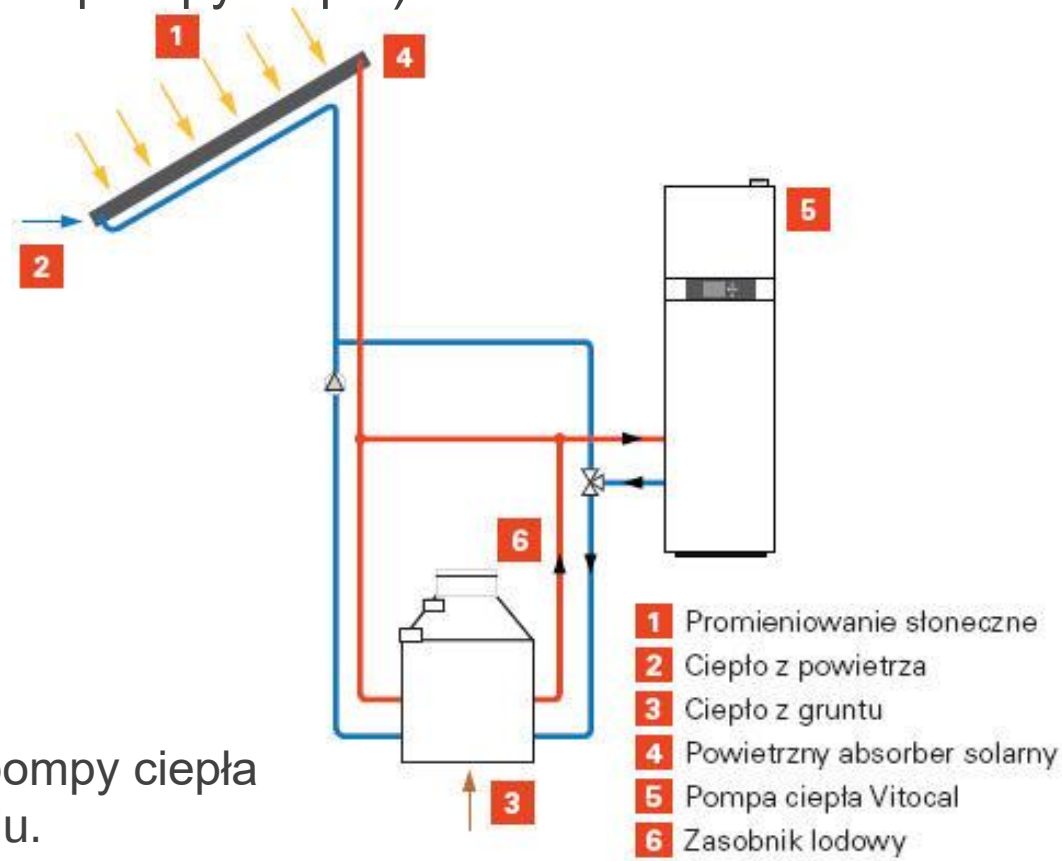


Rys. Wykorzystanie przemiany fazowej – do stopienia 1 kg lodu, przy stałej temperaturze, potrzeba **93 Wh** energii cieplnej.

Źródła ciepła wykorzystywane w systemie zasobnika lodu

Zasobnik lodu wykorzystuje różne źródła ciepła, których wykorzystaniem zarządza sterownik (np. regulator pompy ciepła):

- powietrze atmosferyczne
- promieniowanie słoneczne
- ciepło gruntu



Rys. Schemat ideowy pompy ciepła z zasobnikiem lodu.

Zasobnik lodu

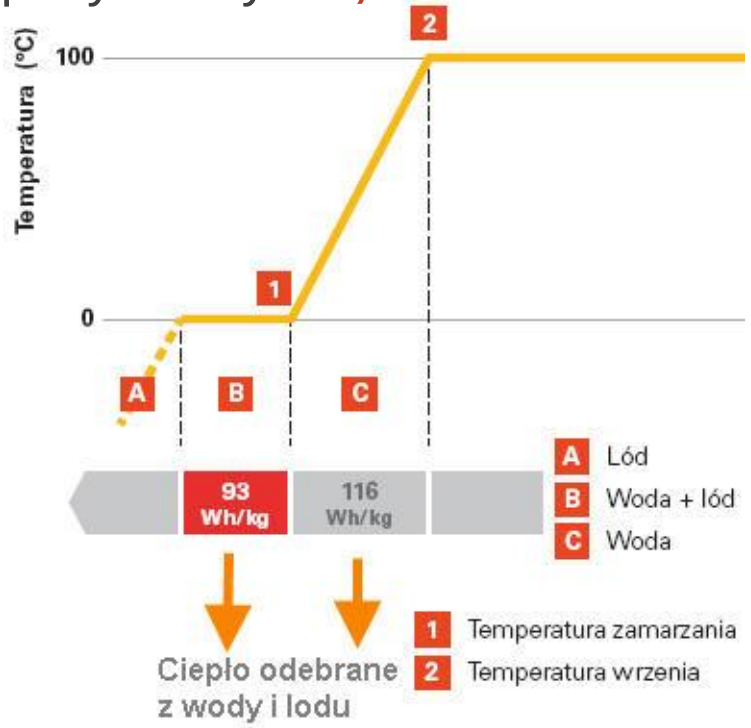
Standardowy system, o mocy grzewczej 20 kW:

- zasobnik lodu składa się z jednego lub dwóch cylindrów betonowych (średnica 2,5 m, wysokość 3,56 m)
- zasobnik zakopuje się w gruncie i napełnia wodą wodociągową – pojemność zasobnika: 10 m3; PC 13 lub 16 kW – 2 zasobniki po 10 m3
- w zbiorniku znajdują się spiralne wężownice z rur z tworzywa sztucznego (wymiennik PC – dolne źródło ciepła)
- przy ściankach zbiornika ułożone są wężownice regenerującego źródła ciepła – regeneracja zasobnika energią z powietrznego kolektora słonecznego (ok. 12 m2 powierzchni brutto, maks. temperatura postojowa: 60°C)

Zasobnik lodu, c.d.

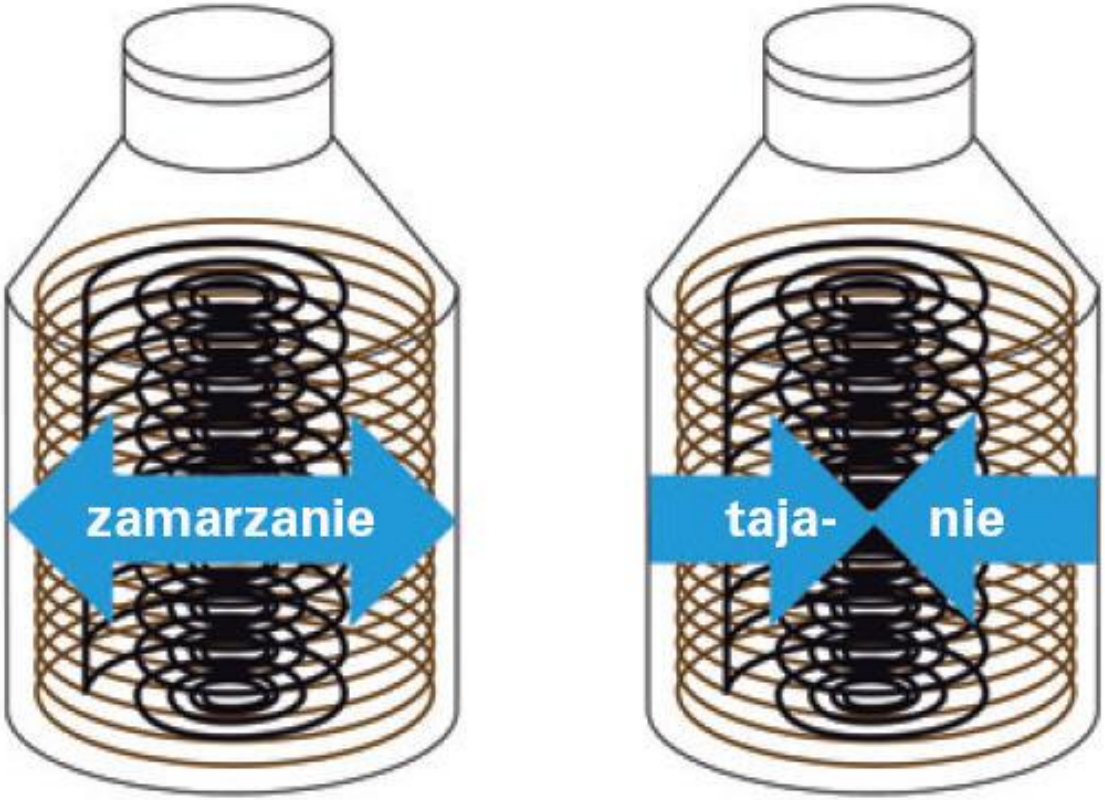
Wykorzystanie przemiany fazowej:

- przy schłodzeniu 1 kg wody, o 1 K - pozyskujemy **1,163 Wh** energii cieplnej; schłodzenie 10 m3 wody o 1 K – pozyskamy: **11,63 kWh**
- przy całkowitym zamarznięciu 1 kg wody pozyskujemy **93 Wh/kg** (przy stałej temperaturze = 0°C); 10 m3 => **930 kWh**
- energia z powietrznego absorbera solarnego ogrzewa wodę lub roztapia lód
- do zasobnika stale dopływa ciepło z gruntu (zależy od rodzaju gruntu)



Zasobnik lodu, c.d.

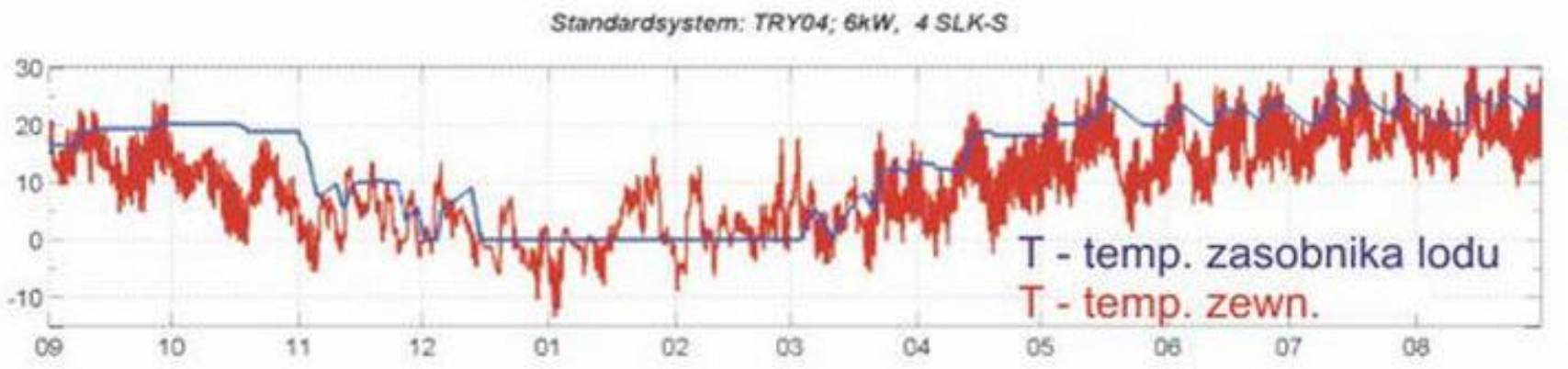
Zasobnik lodu wykorzystywany jest również do chłodzenia budynku w lecie (zamarznięta woda stanowi naturalne źródło chłodu).



Rys. Ukierunkowane zamarzanie i tajenie w zasobniku lodu

Zdj. Oblodzenie wężownic w zasobniku lodu.

Zasobnik lodu, c.d.

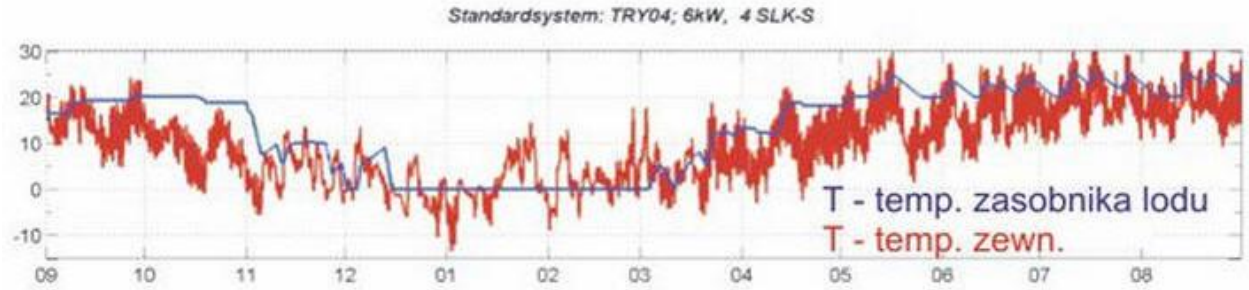


Rys. Rozkład temperatur zasobnik lodu w pracującej instalacji

Zasobnik lodu, c.d.

Vitocal 300-G, - „starsza” pompa ciepła Viessmann (2014r.)

Typ BWC 301.A		10
Dane dotyczące mocy wg EN 14511 (B0/W35, różnica 5 K)		
Znamionowa moc cieplna	kW	9,97
Moc chłodnicza	kW	8,04
Pobór mocy elektrycznej	kW	2,07
Stopień efektywności ε (COP)		4,81
Dane dotyczące mocy wg EN 14511 (B0/W35, różnica 10 K)		
Znamionowa moc cieplna	kW	10,36
Moc chłodnicza	kW	8,47
Pobór mocy elektrycznej	kW	2,03
Stopień efektywności ε (COP)		5,10
Solanka (obieg pierwotny)		
Min. przepływ objętościowy (przy różnicy 5 K)	l/h	1470
Maks. temperatura na zasilaniu	°C	25
Min. temperatura na zasilaniu	°C	-5



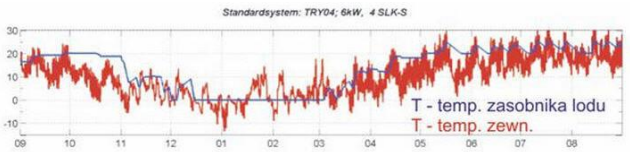
Zasobnik lodu, c.d.

Vitocal 300-G – „nowa" pompa ciepła Viessmann (2015r.)

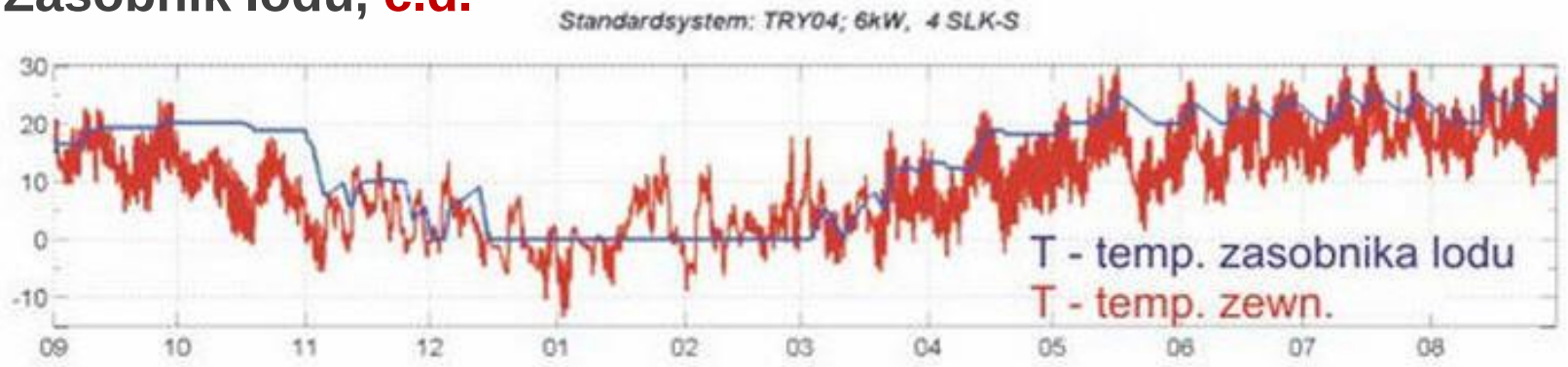
Vitocal 300-G

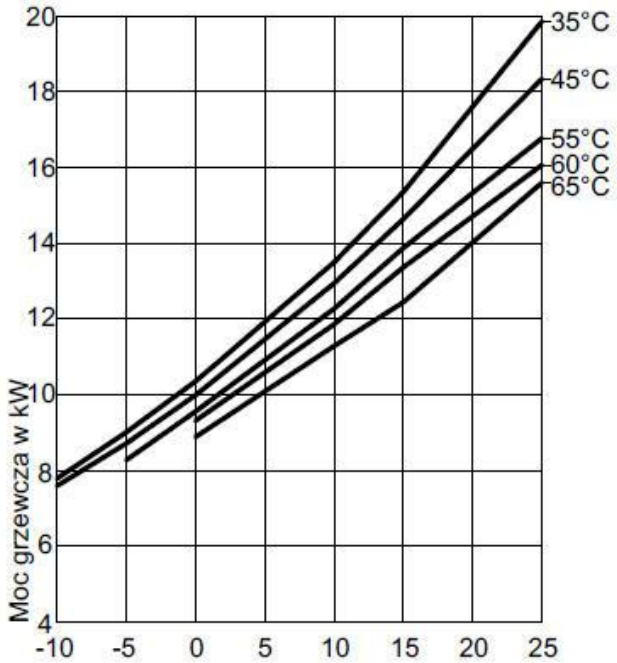
Dane techniczne pomp ciepła solanka/woda

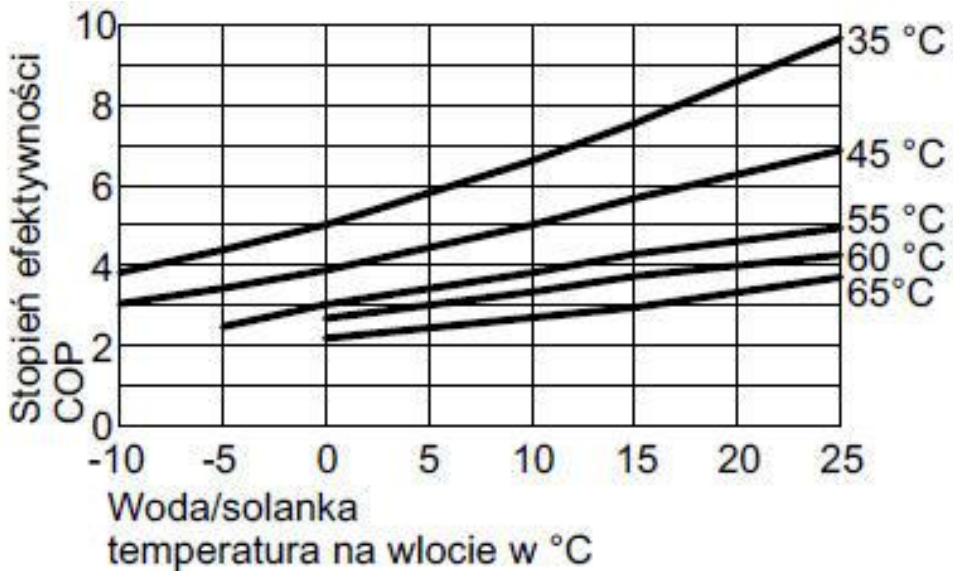
Typ BWC/BW/BWS 301.B		10
Dane dotyczące mocy wg EN 14511 (B0/W35, różnica 5 K)		
Znamionowa moc cieplna	kW	10,36
Wydajność chłodnicza	kW	8,43
Pobór mocy elektrycznej	kW	2,07
Stopień efektywności ε (COP)		5,01
Solanka (obieg pierwotny)		
Pojemność	l	4,0
Minimalny przepływ objętościowy	l/h	1470
Opór przepływu przy minimalnym przepływie ob-	mbar	25
jętościowym (tylko typ BW/BWS)	kPa	2,5
Dyspozycyjna wysokość tłoczenia przy minimal-	mbar	810
nym przepływie objętościowym (tylko typ BWC)	kPa	81,0
Maks. temperatura na zasilaniu (wlot solanki)	°C	25
Min. temperatura na zasilaniu (wlot solanki)	°C	–10
Woda grzewcza (obieg wtórny)		



Zasobnik lodu, c.d.

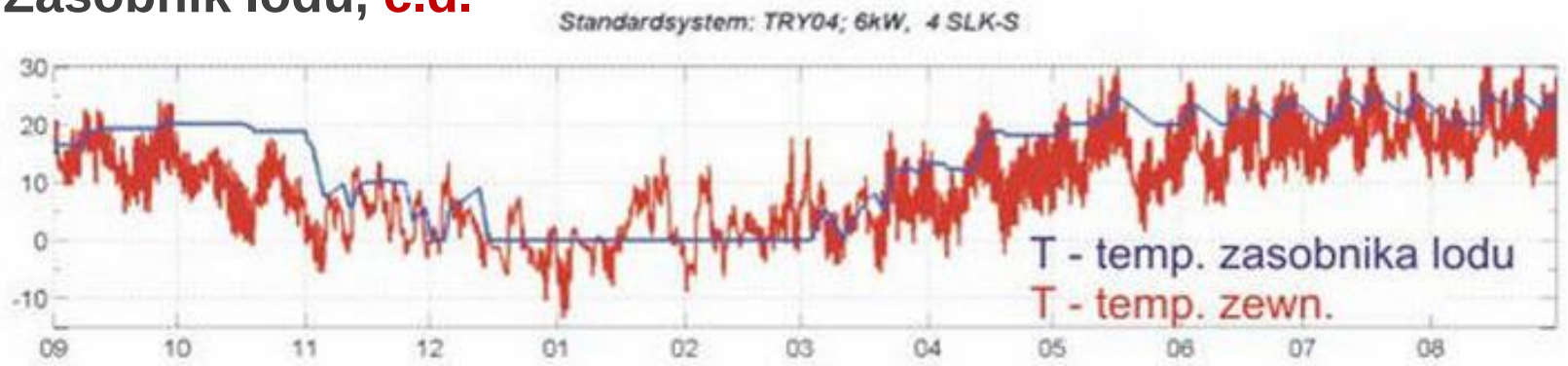






Rys. Charakterystyki Vitocal 300-G typ BWC 301.B10

Zasobnik lodu, c.d.



Dane dotyczące mocy

Punkt pracy W	°C	35				
B	°C	-5	0	2	10	25
Moc grzewcza	kW	9,02	10,36	10,99	13,51	19,86
Wydajność chłodnicza	kW	7,10	8,43	9,07	11,60	17,94
Pobór mocy elektrycznej	kW	2,06	2,07	2,07	2,05	2,06
Stopień efektywności ε (COP)		4,38	5,01	5,32	6,58	9,63

Tab. Dane w formie tabeli dla Vitocal 300-G typ BWC 301.B10

Zasobnik lodu, c.d.

Przykładowa instalacja
Budynek biurowy firmy Porsche Design, Ludwigsburg, Niemcy:

- moc grzewcza pompy ciepła Vitocal 300-G: 29 kW (B0/W35, schłodzenie 5 K, wg EN 14511)
- wydajność chłodnicza: 23 kW
- COP 4,83 (przy schłodzeniu 10 K COP 5,08)
- minimalna/maksymalna temperatura solanki: -10/+25°C
- COP w wybranych punktach pracy wg EN 14511:
  3,70 (B-5/W35)
  6,00 (B10/W35)
  7,01 (B15/W35)

Zasobnik lodu, c.d.

Przykładowa instalacja, c.d.

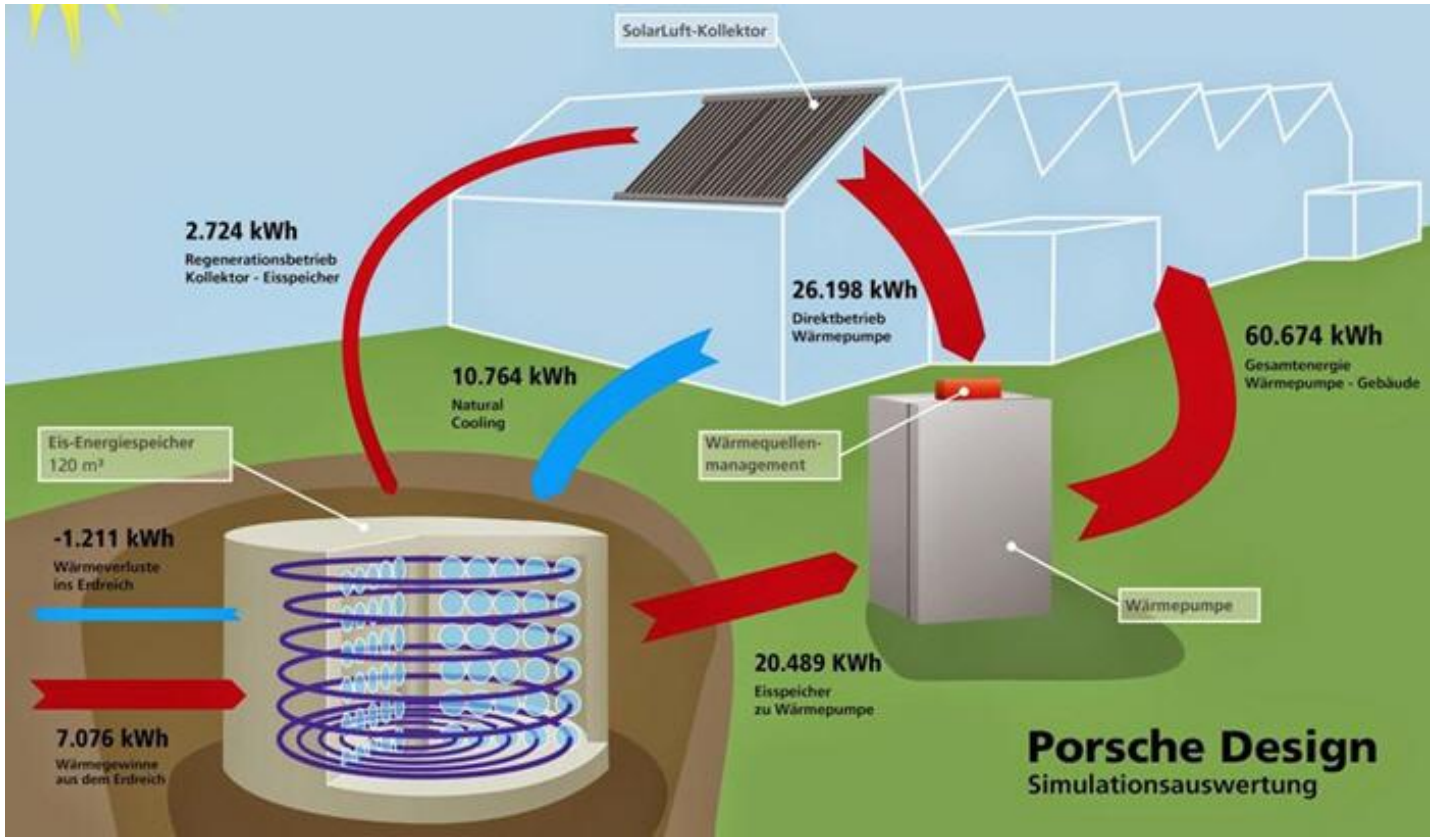
Budynek biurowy firmy Porsche Design, Ludwigsburg, Niemcy: c.d.

- instalacja do ogrzewania i chłodzenia budynku
- wysokość zasobnika lodu: 3 m
- średnica zasobnika: 7 m
- objętość zasobnika lodu: 120 m3 (120 000 litrów)
- pojemność wody w zbiorniku: 93 m3 (93 000 litrów)
- powierzchnia brutto absorbera powietrzno-solarnego: 51 m2

Artykuł o ogrzewaniu lodem – **Załącznik 1.**

Zasobnik lodu, c.d.

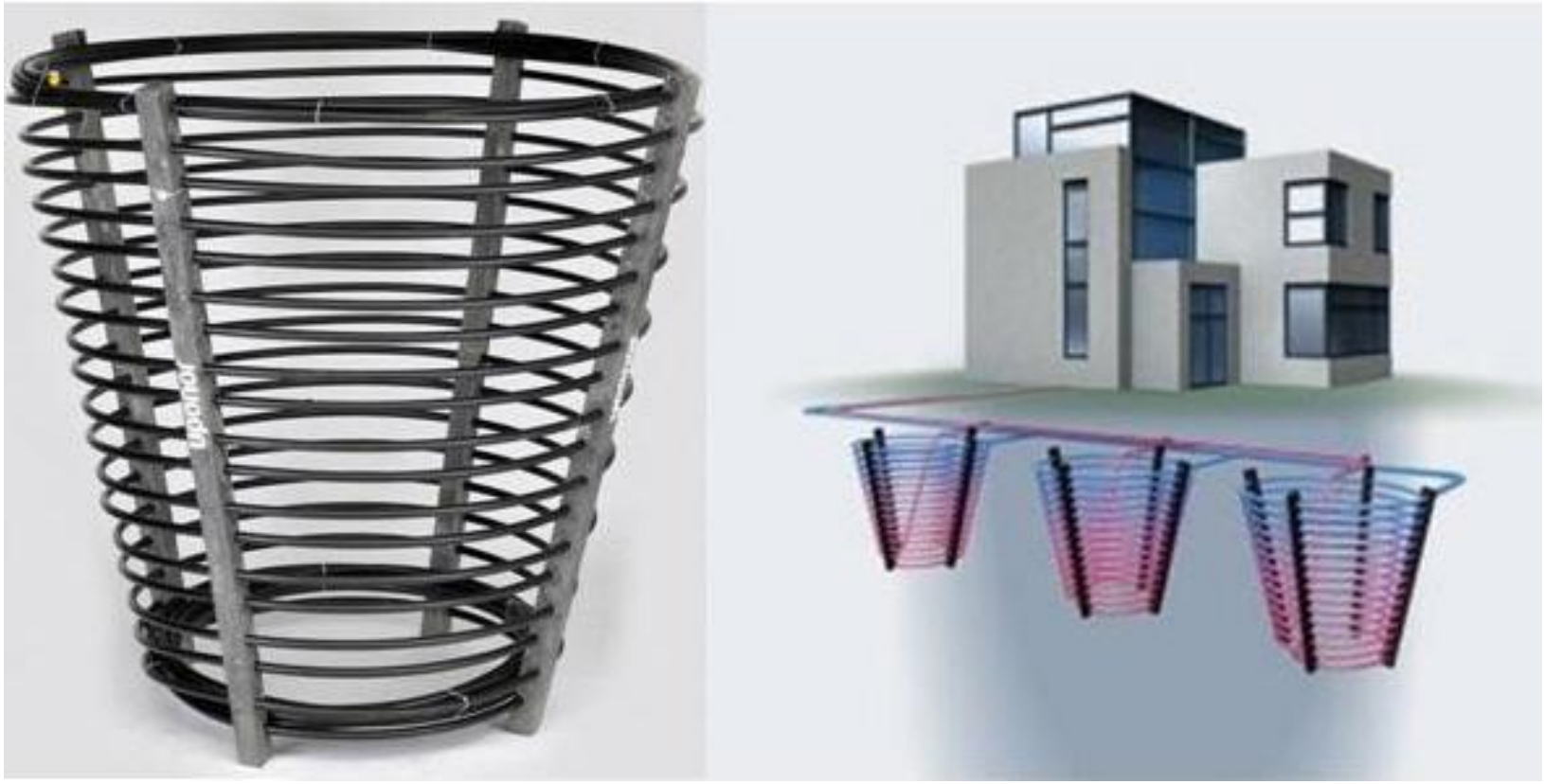
Przykładowa instalacja, c.d.



Rys. Roczny bilans energii

Klatki energetyczne

Klatki geotermalne (geothermal energy cage), kosze energii itp.;
np. firma UPONOR



Klatki energetyczne, c.d.

Uponor Energy klatka PE-Xa

Stożkowy kształt: 2,4 - 1,4 m.
Rury produkowane są z tlenowo sieciowanego polietylenu (PE-Xa) wykorzystującego metodę Engela, zgodnie z normą PN-EN ISO 15875 „Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do instalacji wody zimnej i ciepłej, Usieciowany polietylen (PEX)".
Przeznaczonedo do stosowania dla kolektorów gruntowych.
Pasiadają warstwę ochronną z czarnego PE, odporne 2 lata na promieniowanie UV. Typoszereg SDR 11. Temperatura pracy: -50 ° C do 95 ° C.
Zawiera przyłączeniowy oodcinek rury dla zasilenia i powrotu.
Dopuszczone do zgrzewania elektrooporowego ze złączkami Uponor EF, PE100, PN16. Zgodnie z DVGW W 400-2 możliwość układania bez podsypki z piasku.

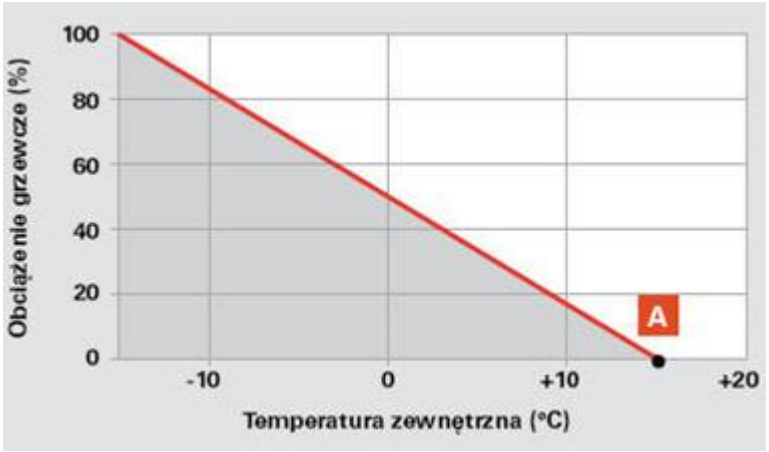
Nr kat.	d mm	l m	h m	opis	opakowanie		cena/ szt.
1058353	32	150	2.0	Uponor Energy klatka PE-Xa 32x2.9 długość rury 150 m	1	szt.	**8990.00**
1058783	32	200	2.7	Uponor Energy klatka PE-Xa 32x2.9 XL długość rury 200 m	1	szt.	**11790.00**

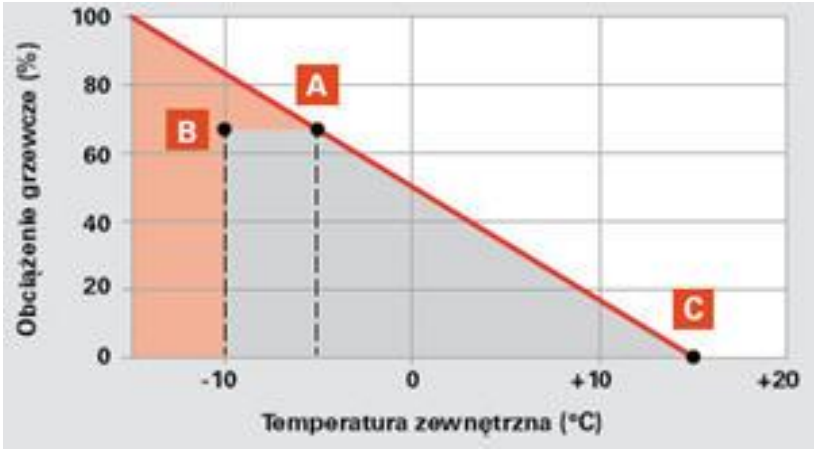
Spiralny wymiennik gruntowy

Sposób pracy pompy ciepła

Pompa ciepła może samodzielnie ogrzewać budynek lub współpracować z innym źródłem ciepła. W zależności od sposobu tej współpracy możemy wyróżnić dwa główne tryby pracy instalacji z pompą ciepła:

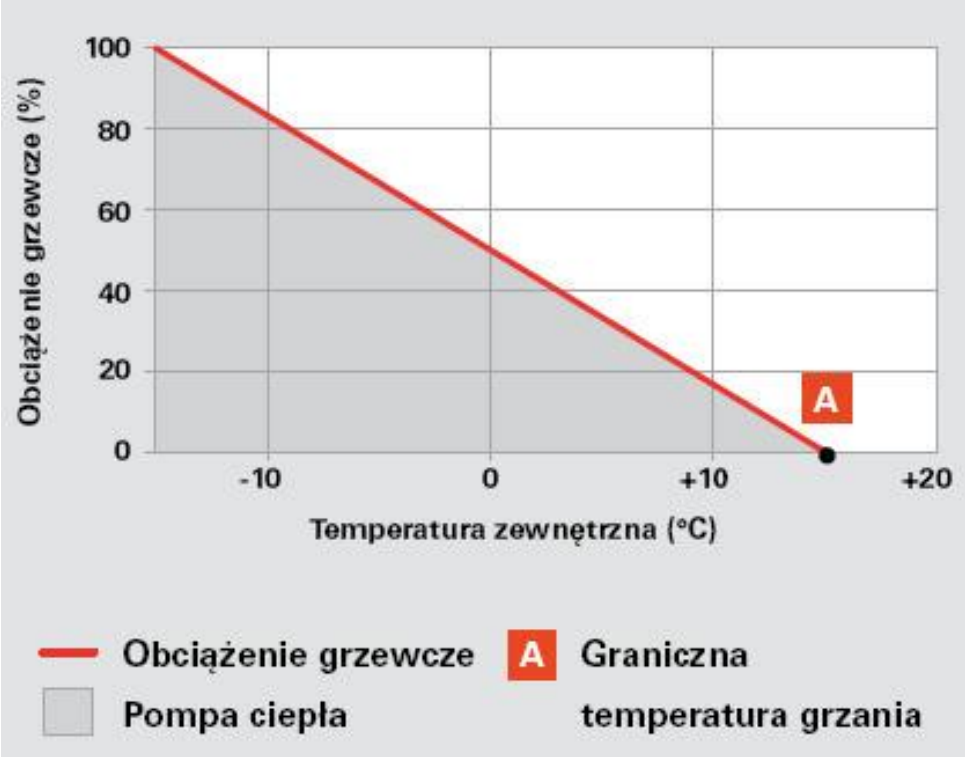
- monowalentny tryb pracy
- biwalentny tryb pracy: monoenergetyczny; równoległy; alternatywny; mieszany





Monowalentny tryb pracy

Pompa ciepła pokrywa całe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (c.o.) i wody użytkowej (c.w.u.).



Rys. Monowalentny tryb pracy.

Biwalentny tryb pracy

Oprócz pompy ciepła, w instalacji znajduje się dodatkowe źródło ciepła, które dostarcza część potrzebnej mocy grzewczej lub ogrzewa wodę do wyższych temperatur.

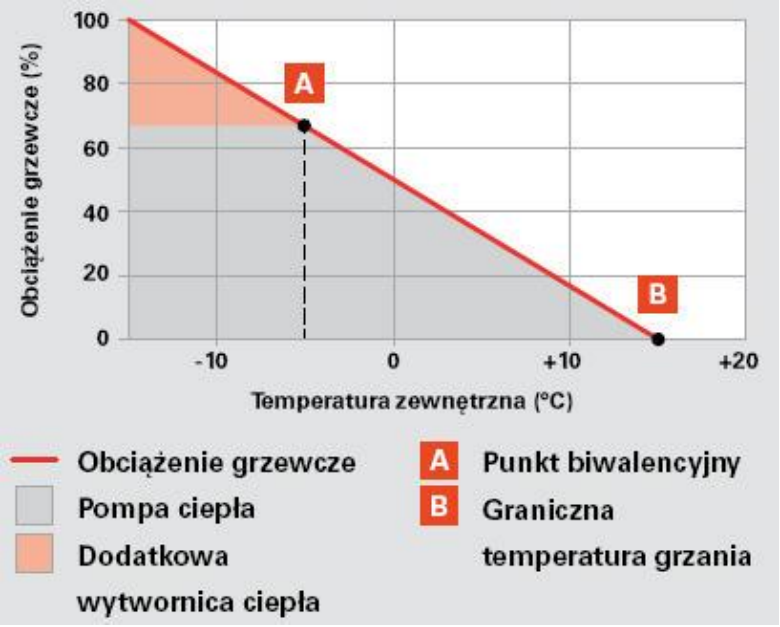
Jeśli dodatkowym źródłem ciepła jest grzałka elektryczna (np. elektryczny przepływowy podgrzewacz wody), to mówimy o układzie **biwalentnym monoenergetycznym** (pompa ciepła i dodatkowe źródło ciepła zasilane są energią elektryczną).

Biwalentny tryb pracy, c.d.

Biwalentny, równoległy tryb pracy

PC pokrywa zapotrzebowanie na ciepło do określonej tempery zewnętrznej, np. -5°C (punkt biwalentny). Przy niższych temperaturach załącza się dodatkowe źródło ciepła, które dostarcza brakujące ciepło (moc).

UWAGA. W równoległym trybie pracy zwiększa się okres pracy pompy ciepła, a więc pobiera ona ze źródła ciepła więcej energii. Należy to uwzględniać w procesie projektowania, zwłaszcza w przypadku sond i kolektorów płaskich.



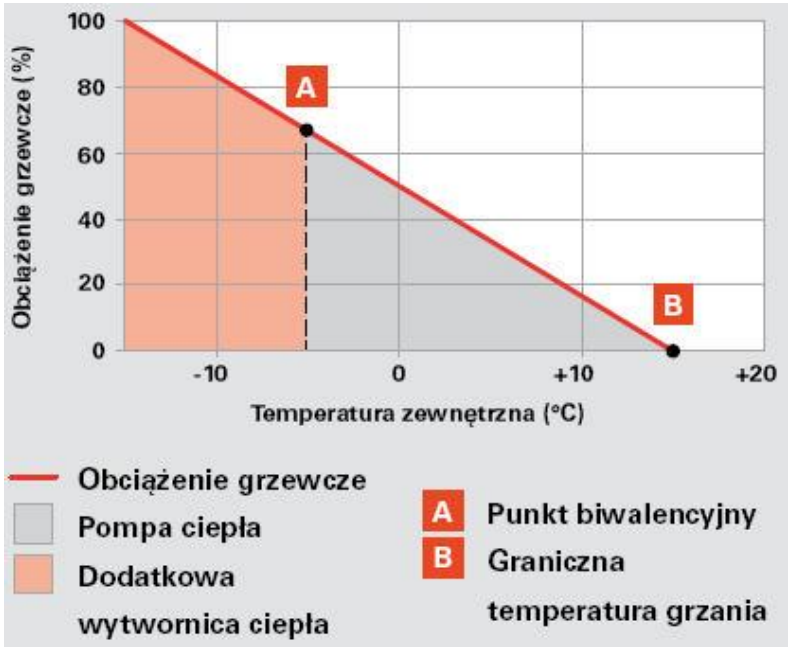
Rys. Równoległy tryb pracy.

Biwalentny tryb pracy, c.d.

Biwalentny, alternatywny tryb pracy

PC zostaje wyłączona po osiągnięciu punktu biwalentnego. Drugie źródło ciepła pokrywa całe zapotrzebowanie na ciepło.

Przy takim sposobie pracy, źródło ciepła projektuje się odpowiednio do mocy grzewczej pompy ciepła.

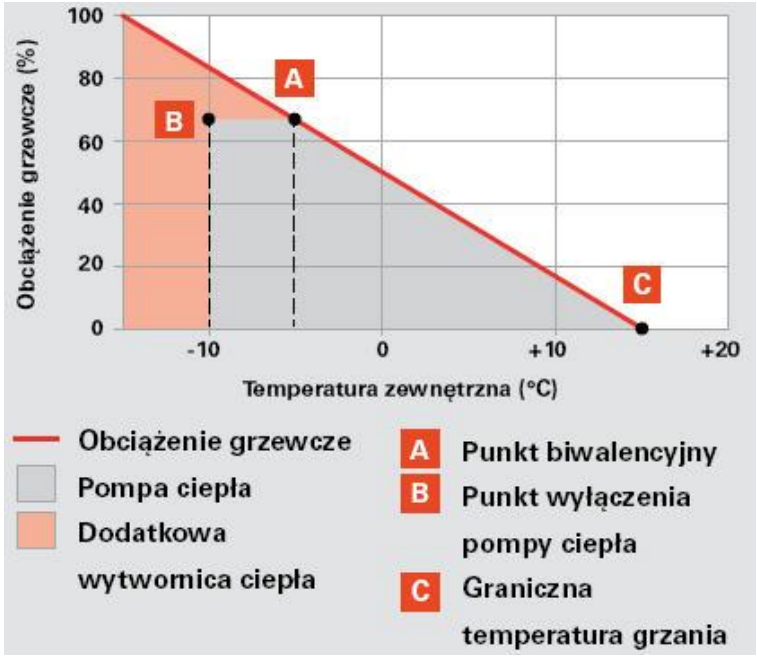


Rys. Alternatywny tryb pracy.

Biwalentny tryb pracy, c.d.

Biwalentny, mieszany tryb pracy

Do osiągnięcia punktu biwalentnego PC pokrywa całe zapotrzebowanie na ciepło. Przy niższych temperaturach, załącza się dodatkowe źródło ciepła (oba pracują równolegle).
Po przekroczeniu maksymalnej temperatury (B) na zasilaniu PC lub przy określonej temperaturze zewnętrznej, wyłącza się PC, a całą potrzebną moc grzewczą dostarcza drugie źródło ciepła.



Rys. Mieszany tryb pracy.

Sposób pracy pompy ciepła

Ze względu na sposób pracy samej pompy ciepła możemy je podzielić na:

- jednostopniowe (np. Vitocal 200-G 10 kW)
- dwustopniowe (np. Vitocal 300-A 16,8/21,3 kW)
- o modulowanej mocy grzewczej (np. Vitocal 300-A 3-9 kW)
- instalacje kaskadowe

Instalacje kaskadowe

Dwie lub więcej pomp ciepła pracujących w danej instalacji – rozwiązanie stosowane zwykle dla uzyskania wyższej całkowitej mocy grzewczej; również do jednoczesnego zasilania obiegów grzewczych o różnych temperaturach.

Możliwe jest łączenie w jednej instalacji (kaskada) pomp ciepła: o tej samej mocy grzewczej; o różnych mocach; o różnych temperaturach zasilania.

Przykład: Dom szeregowy - równoczesne zapotrzebowanie na c.w.u. i c.o., wysokotemperaturowa pompa ciepła (70°C) może podgrzać zbiornik c.w.u. do temperatury 60°C, w tym samym czasie inne moduły wchodzące w skład kaskady mogą efektywnie pokryć zapotrzebowanie na cele grzewcze na znacznie niższym poziomie temperatury. Jedno urządzenie nie byłoby w stanie tego zapewnić.

Instalacje kaskadowe; c.d.

VITOCAL 200-S

- do 5-ciu pomp ciepła w kaskadzie
- możliwość jednoczesnego dostarczania ciepła do c.o. i do c.w.u. lub dostarczania chłodu i ogrzewania c.w.u.
- specjalny algorytm sterowania kaskadą dla uzyskania najwyższego SCOP
- optymalne COP jest obliczane przez regulator każdej pompy ciepła zależnie od aktualnej wartości temperatury zewnętrznej i zasilania

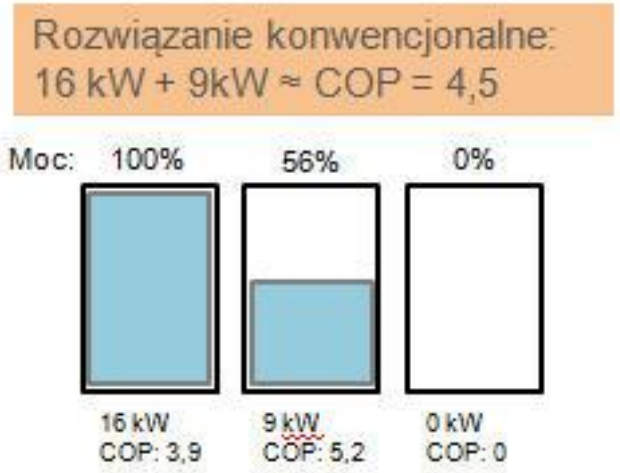
Sposób pracy pompy ciepła

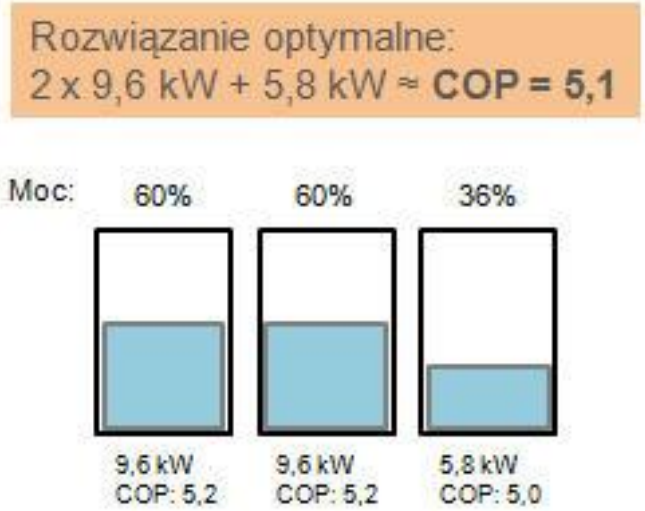
Instalacje kaskadowe; c.d.

VITOCAL 200-S; c.d.

Optymalizacja mocy dla utrzymania maksymalnej efektywności:

Pompy ciepła:	3 x Vitocal 200-S 201.C13
Zainstalowana moc:	48 kW (dla A7/W35)
Chwilowa wymagana moc:	25 kW





Wizualizacje pracy instalacji

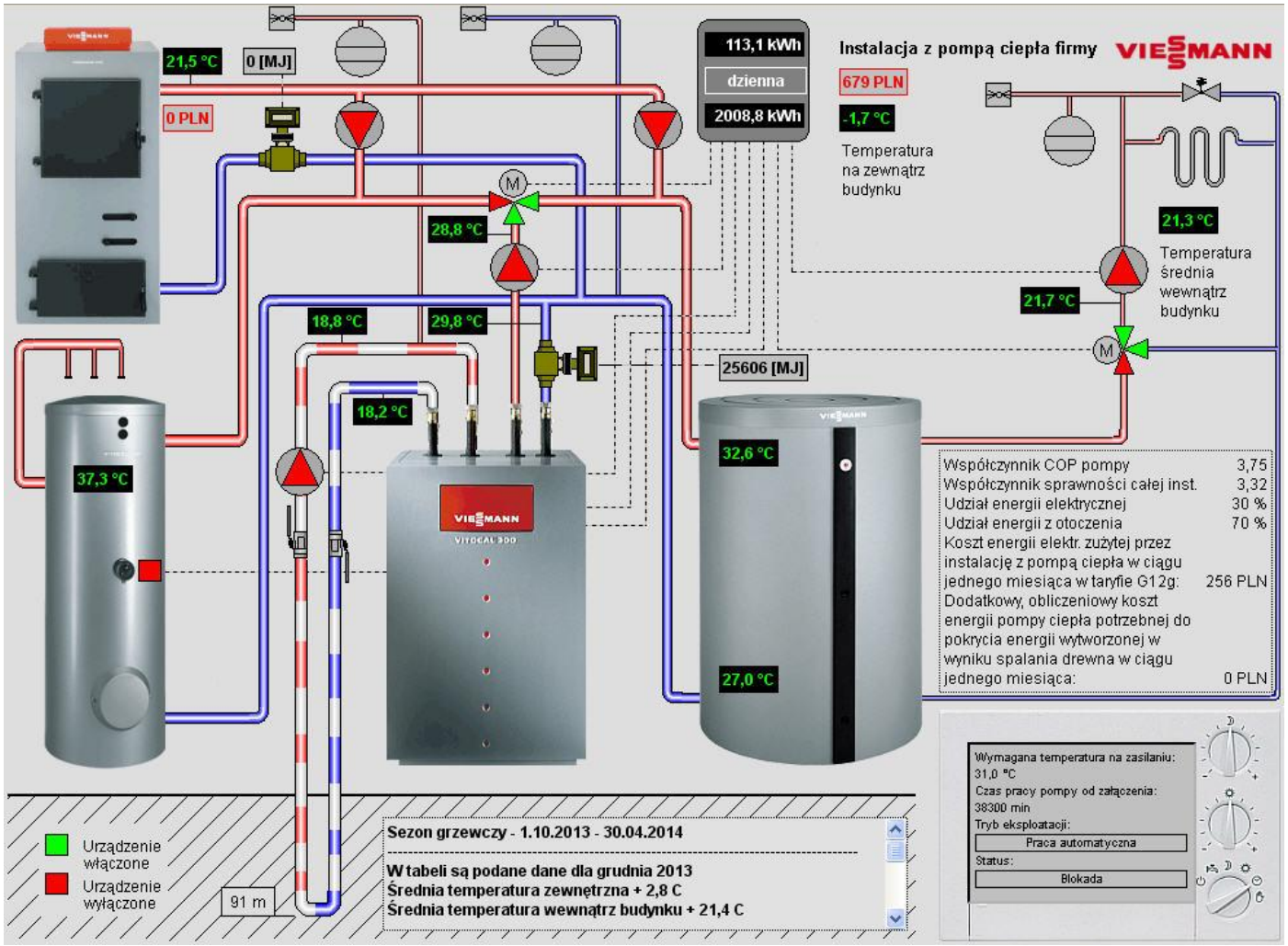
Nawet najlepsza pompa ciepła nie gwarantuje najniższych kosztów ogrzewania.

Właściwie zaprojektowana i wykonana instalacja, tworzy efektywny system grzewczy budynku.

Obieg pierwotny pompy ciepła – wszystkie komponenty, które są potrzebne do pobrania energii ze środowiska lub innego źródła ciepła, np. wymienniki ciepła, pompy solanki, wentylatory, itd..

Obieg wtórny – wszystkie komponenty, które są potrzebne do przekazania pozyskanej energii do instalacji grzewczej, np. grzejników.

Przykładowe rozwiązanie instalacji



Przykładowe rozwiązanie instalacji, c.d.

Link do Wizualizacji instalacji z pompą ciepła:
http://www.viessmann.pl/pl/dom-jednorodzinny/Ogrzewanie/pompy-ciepla/wizualizacja.html

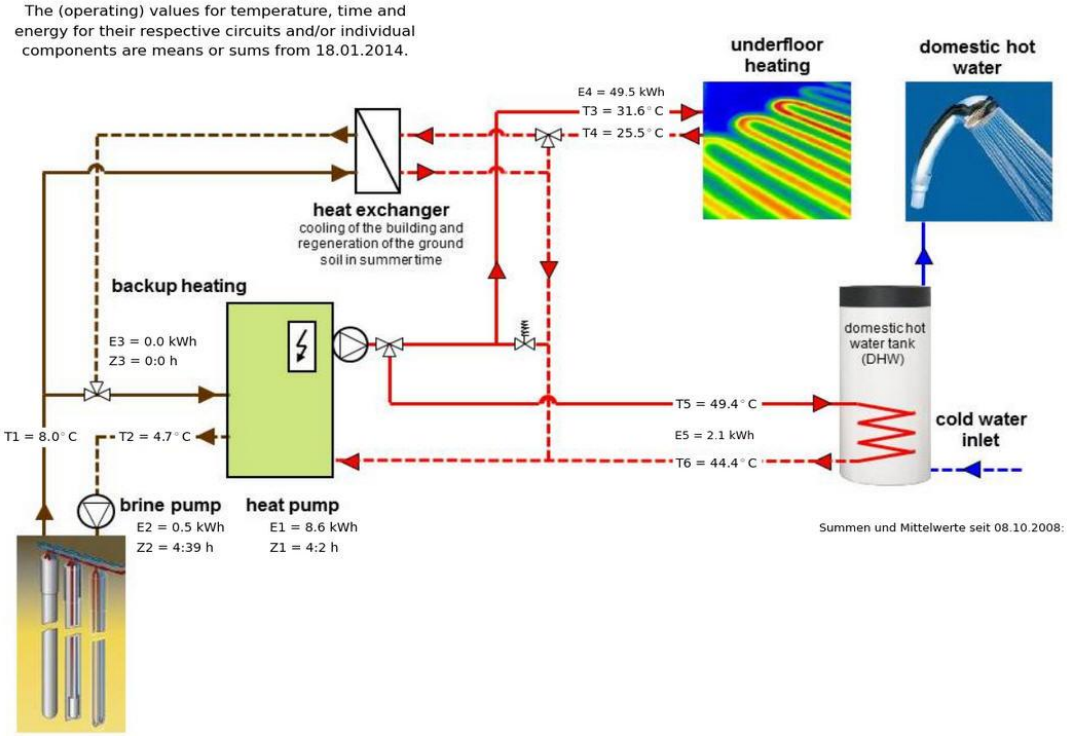
Dane budynku:

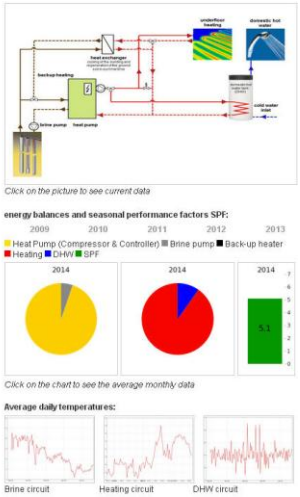
- powierzchnia użytkowa: 160 m2
- powierzchnia pomieszczeń ogrzewanych: 200 m2
- kubatura: 550 m3
- obliczone zapotrzebowanie budynku na ciepło – wentylacja grawitacyjna: 11.300 W (11,3 kW) – wskaźnik 56,5 W/m2 powierzchni ogrzewanej; 20,5 W/m3 kubatury
- 4 mieszkańców (w tym dwoje dzieci)

Link do opisu instalacji i wyników jej pracy:
http://www.slideshare.net/Centraltech/gruntowa-pompa-ciepa-online?ref=http://www.centraltech.pl/pompa-ciepla-gruntowa/

Przykładowe rozwiązanie instalacji, c.d.

Instalacje z pompami ciepła on-line, **ISE**:
https://wp-monitor.ise.fraunhofer.de/english/index/messdaten.html
lub na PORT PC (opisy instalacji w PL): http://portpc.pl/?page_id=42





Przykładowe rozwiązanie instalacji, c.d.

Instalacje z pompami ciepła on-line, **ISE**, **c.d.:**

W latach 2006-2010 Instytut Fraunhofera ISE przeprowadził badania blisko 200 instalacji z pompami ciepła pracującymi w rzeczywistych budynkach :
- 110 instalacji w nowowybudowanych domach jedno- i dwurodzinnych
- 70 starszych domów, w których jeszcze nie przeprowadzono termomodernizacji, ale z pompami ciepła jako alternatywą dla kotłów olejowych.

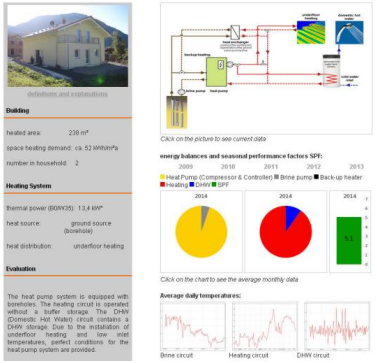
Badano pompy ciepła pobierające ciepło z gruntu (gruntowe) i z powietrza atmosferycznego (powietrzne). Nowe budynki, w ok. 95%, ogrzewane są przez ogrzewanie podłogowe. Starsze, w ponad 95% ogrzewane tradycyjnymi grzejnikami.
Średnia powierzchnia ogrzewana nowych i starszych budynków wynosi 190 m2. Zapotrzebowanie na ciepło w nowych budynkach wynosiło od ok. 30 do 150 kWh/m2rok – średnio 70 kWh/m2rok. Dla starszych domów, zapotrzebowanie na ciepło obliczono na podstawie zużycia oleju opałowego z 5 lat i wynosiło: ok. 150 kWh/m2 powierzchni ogrzewanej w ciągu roku.

Przykładowe rozwiązanie instalacji, c.d.

Instalacje z pompami ciepła on-line, **ISE**, **c.d.**:

W przeważającej części budynków, pompa ciepła służyła do ogrzewania domu i wody użytkowej.
Współczynniki efektywności instalacji SPF, w nowych i starszych domach, uwzględniały zużycie energii elektrycznej przez: pompę ciepła i jej regulator; pompę solanki (dla pomp ciepła gruntowych) lub wentylator powietrza – dla pomp ciepła powietrznych; grzałkę elektryczną (uzupełniające źródło ciepła).

Ilość ciepła dostarczonego do instalacji ogrzewania mierzono bezpośrednio za pompą ciepła.

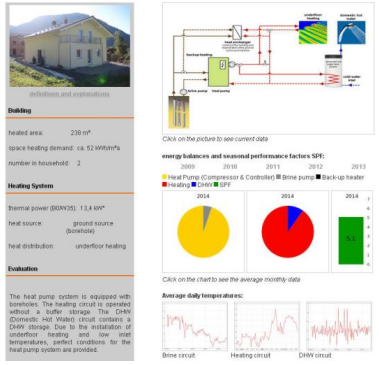


Przykładowe rozwiązanie instalacji, c.d.

Instalacje z pompami ciepła on-line, **ISE**, **c.d.:**

Na podstawie kilku lat badań tych instalacji, określono średnie wartości współczynników SPF, które wyniosły:
- dla pomp ciepła gruntowych (BW): **3,9** w nowych i **3,3** w starszych budynkach
- dla powietrznych pomp ciepła (AW): **2,9** dla nowych i **2,6** dla starszych

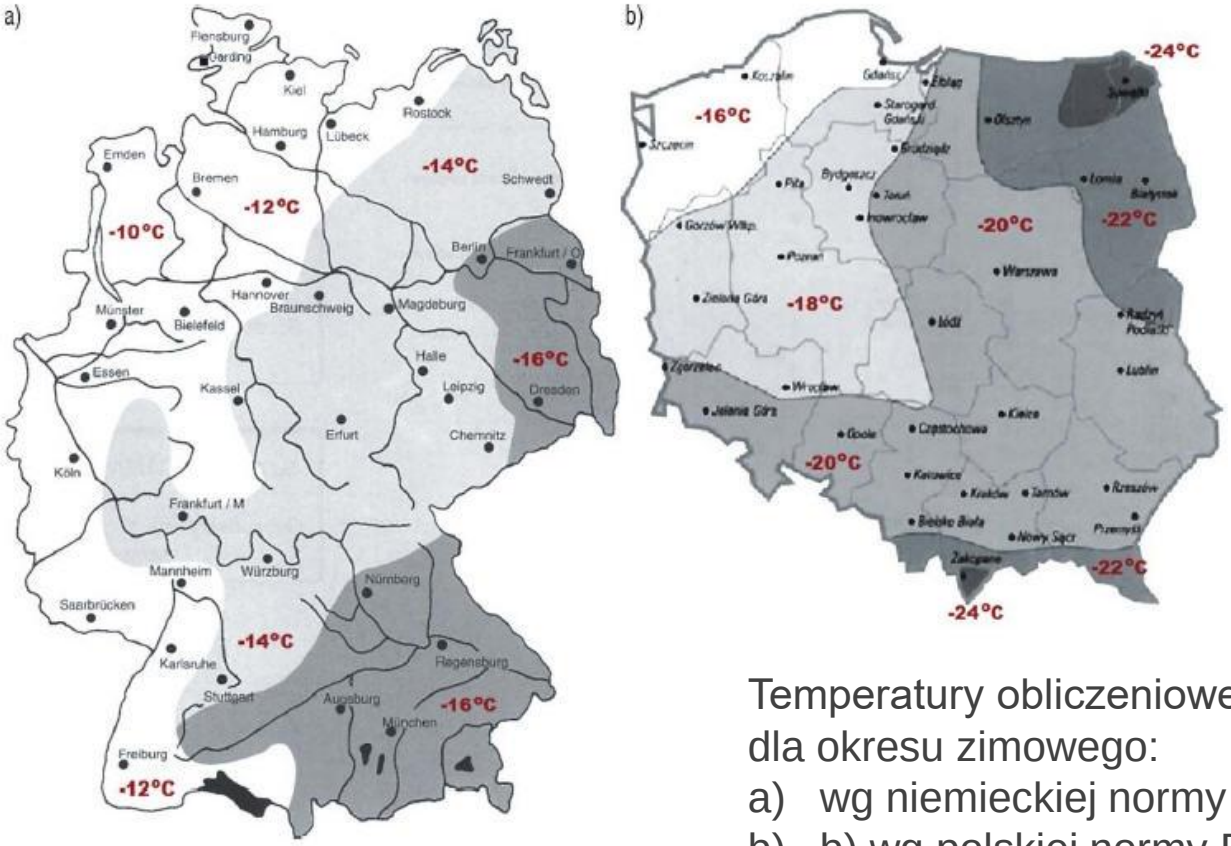
Więcej o wynikach badań w artykule: Sprawność pomp ciepła w realnych warunkach użytkowania, plik PDF, 862 KB >>
Link do pobrania PDF-a: http://instalreporter.pl/wp-content/uploads/2011/01/IR_2011_01_02_WynikiBadan.pdf



Przykładowe rozwiązanie instalacji, c.d.

Instalacje z pompami ciepła on-line, **ISE**, **c.d.**:

UWAGA: **Temperatury w DE różnią się nieco od PL**



Temperatury obliczeniowe powietrza zewnętrznego dla okresu zimowego:

a) wg niemieckiej normy DIN 4710;

b) b) wg polskiej normy PN-82/B-02403

Systemy energetyki odnawialnej

Temat nr 2, 25.11.2015:
Pompy ciepła, cz.1

Polecam:

Artykuł: Zrozumieć pompę ciepła (Załącznik 2 do wykładu)

Kalkulator SCOP, na stronie PORT PC: **http://portpc.pl/?page_id=344**

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