

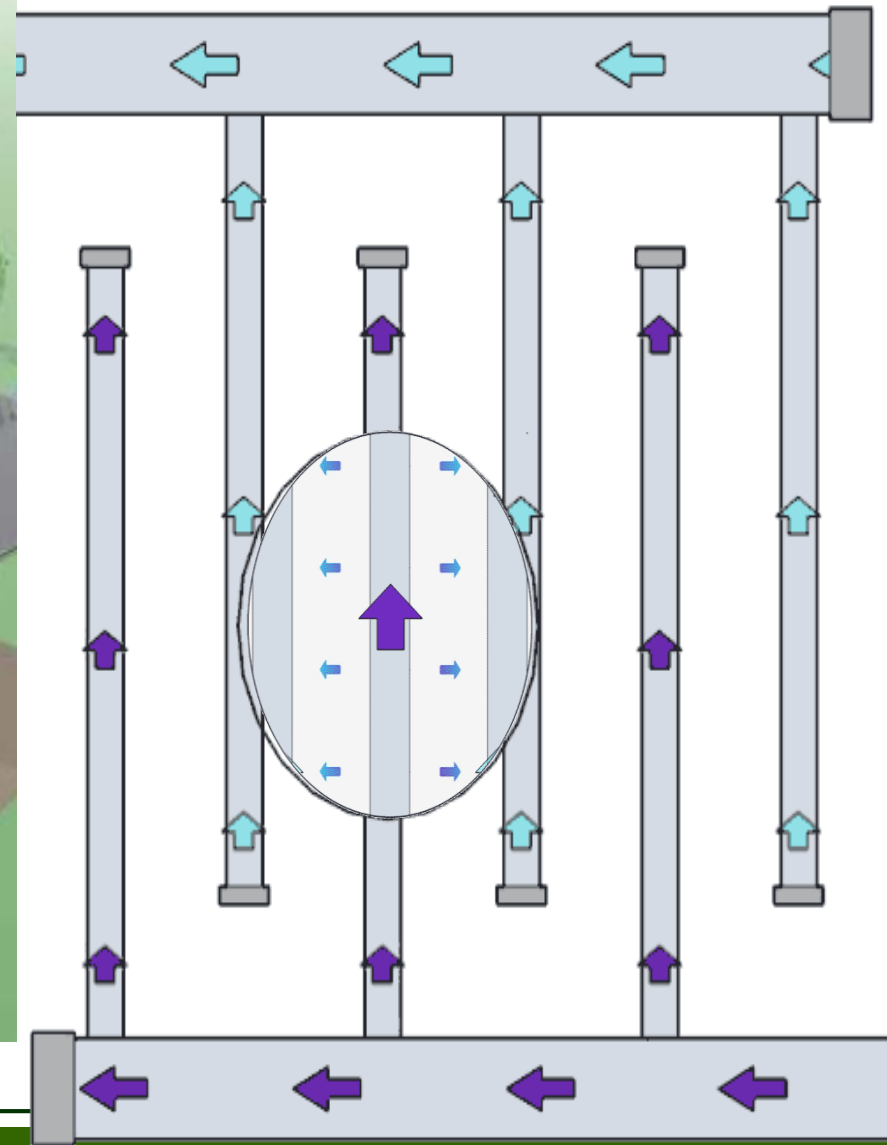


Pompy ciepła

Wykład IX

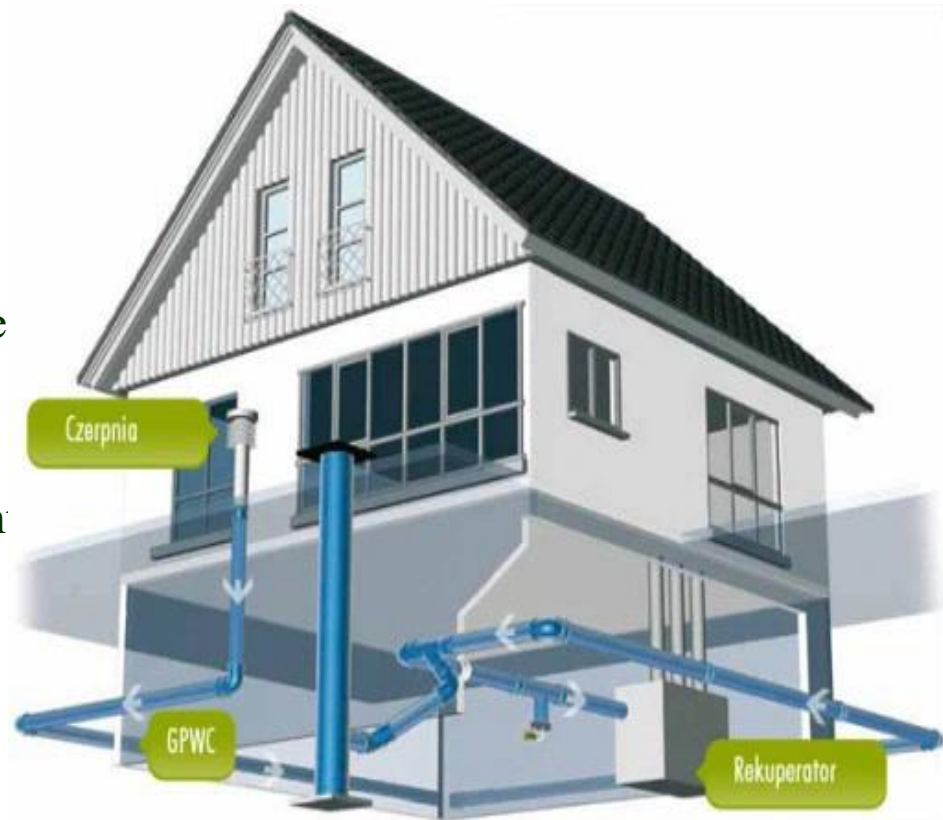
Powietrze atmosferyczne
Metody pozyskania.
Gruntowy Powietrzny Wymiennik Ciepła

Wymienniki gruntowo-powietrzne GPWC



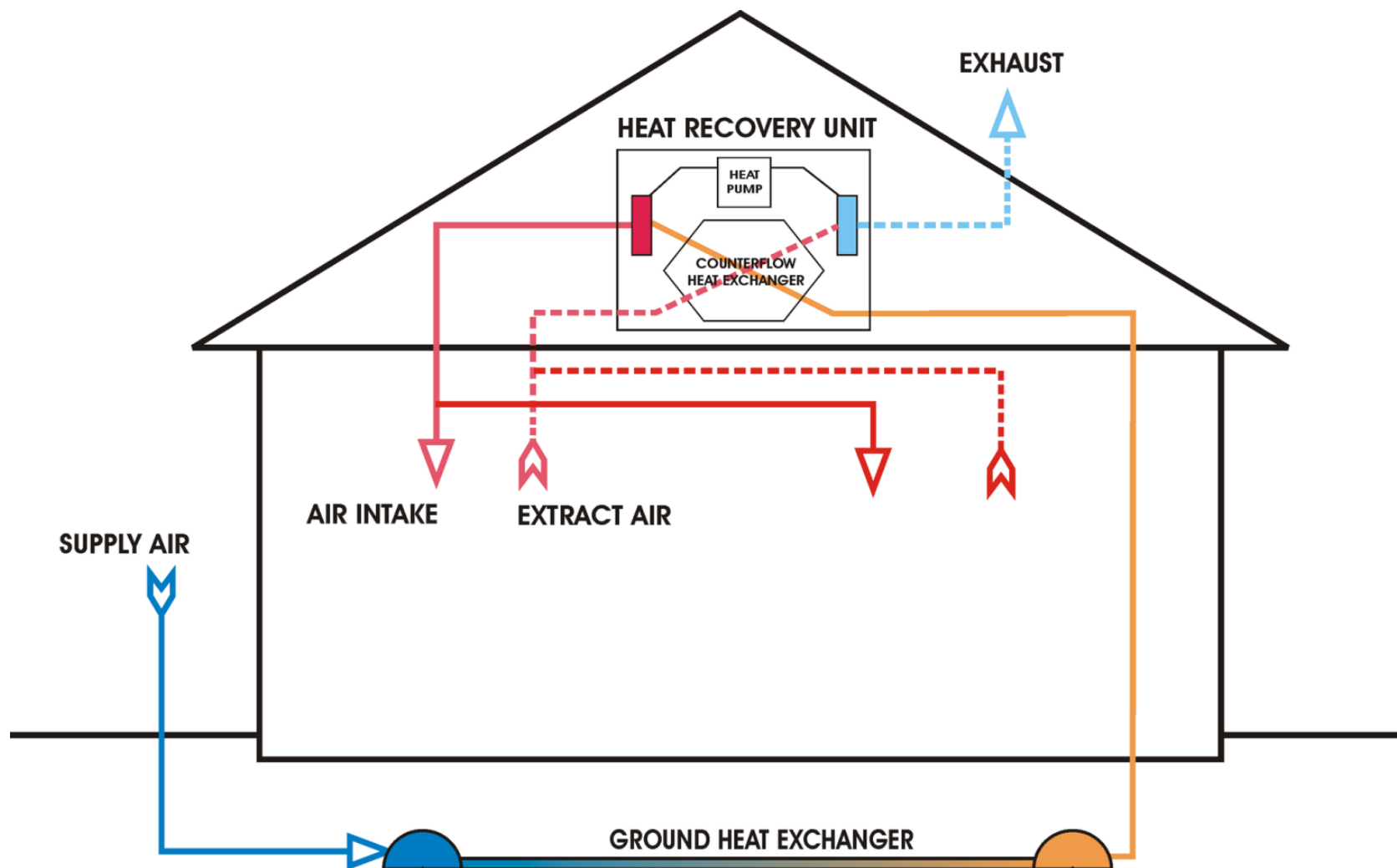
Gruntowy powietrzny wymiennik ciepła(GPWC)

- Idea działania: wykorzystanie temperatury gruntu oscylującej na poziomie ok. 8-10 °C (na głębokości ok. 1,5- 2 m poniżej rzędnej terenu) do ocieplenia lub schłodzenia powietrza płynącego w specjalnym systemie wymiennika ciepła w gruncie.
- Rozwiązanie znane i stosowane jako element instalacji wentylacji mechanicznej.
- Najlepiej z odzyskiem ciepła (czyli rekuperacją). Centrala wentylacyjna lub rekuperator, a konkretnie wentylator tam zamontowany jest wtedy elementem wymuszającym przepływ przez GPWC.

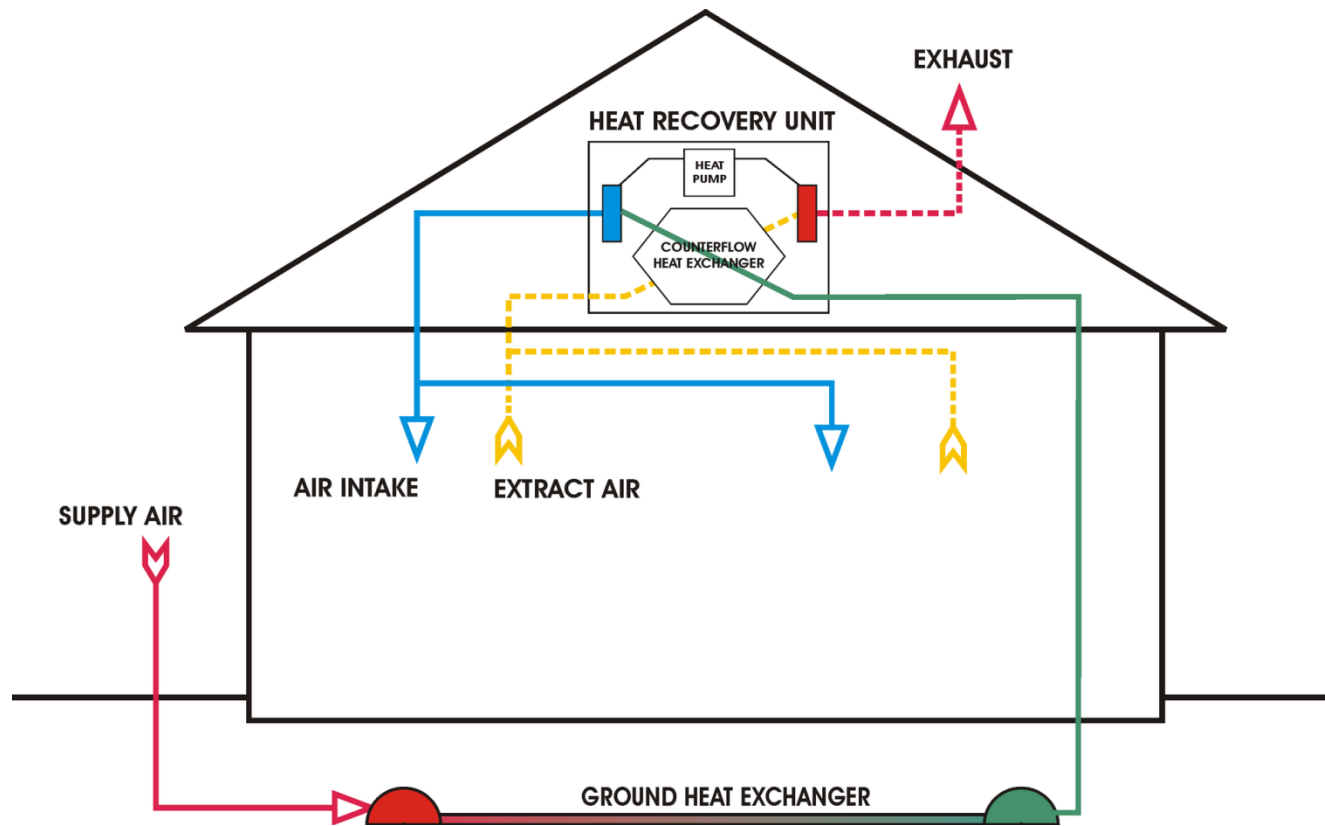


Powietrze to jest następnie przekazywane do centrali wentylacyjnej (najczęściej rekuperatora) i rozprowadzane w budynku systemem rur wentylacyjnych.

Idea działania- Odzysk ciepła- ZIMA



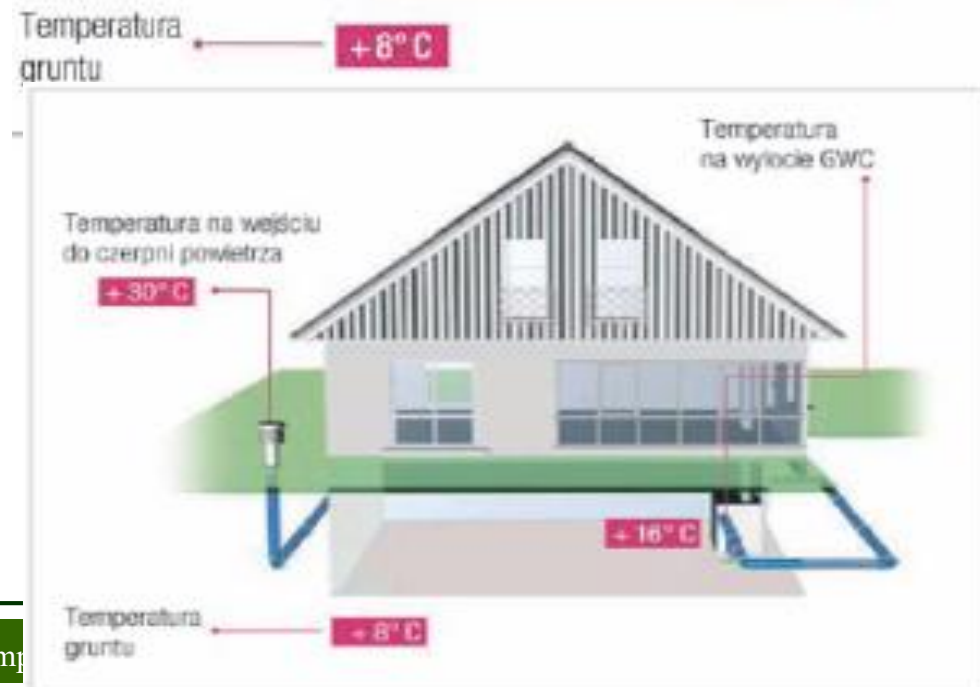
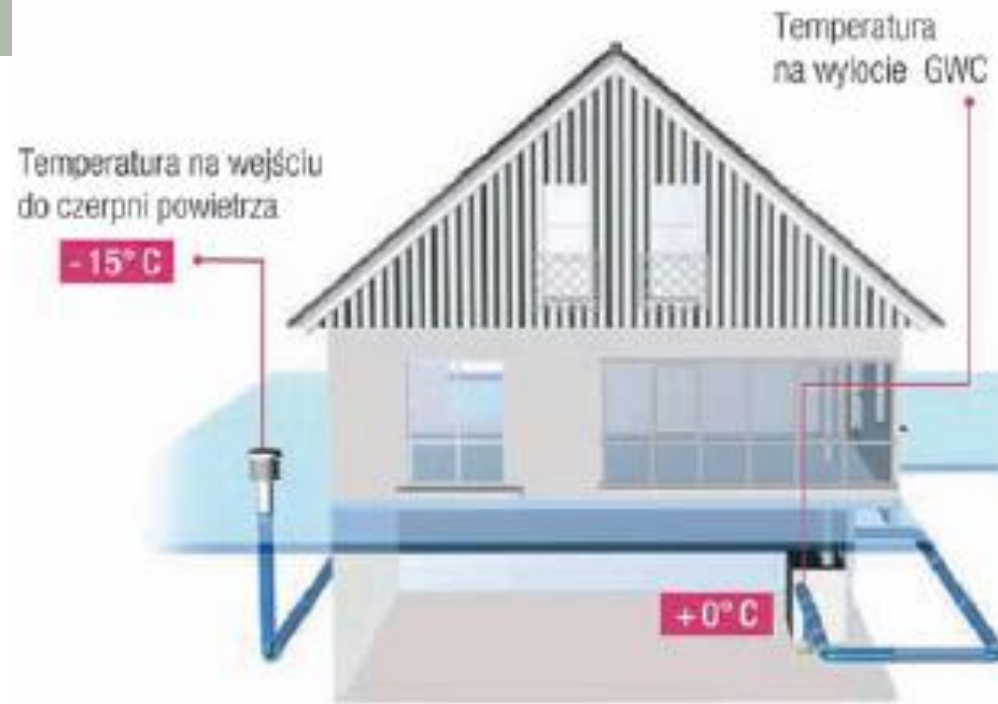
Chłodzenie -LATO



GPWC

ZIMA. Dzięki zastosowaniu GPWC można podnieść temperaturę doprowadzanego powietrza o 15- 22°C w zimie i obniżyć o 15- 20°C w lecie.

LATO. W przypadku wystąpienia upałów z temperaturami do 33°C powietrza po przejściu przez **wymiennik ciepła** ochłodzi się do temperatury 16°C.



Korzyści z GPWC

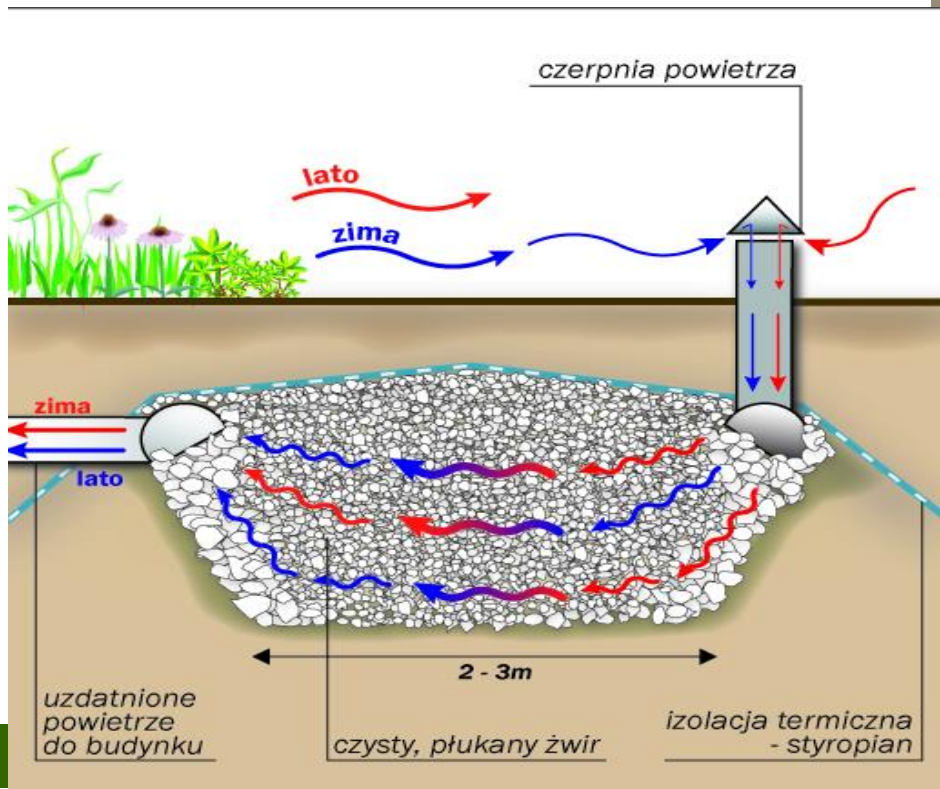
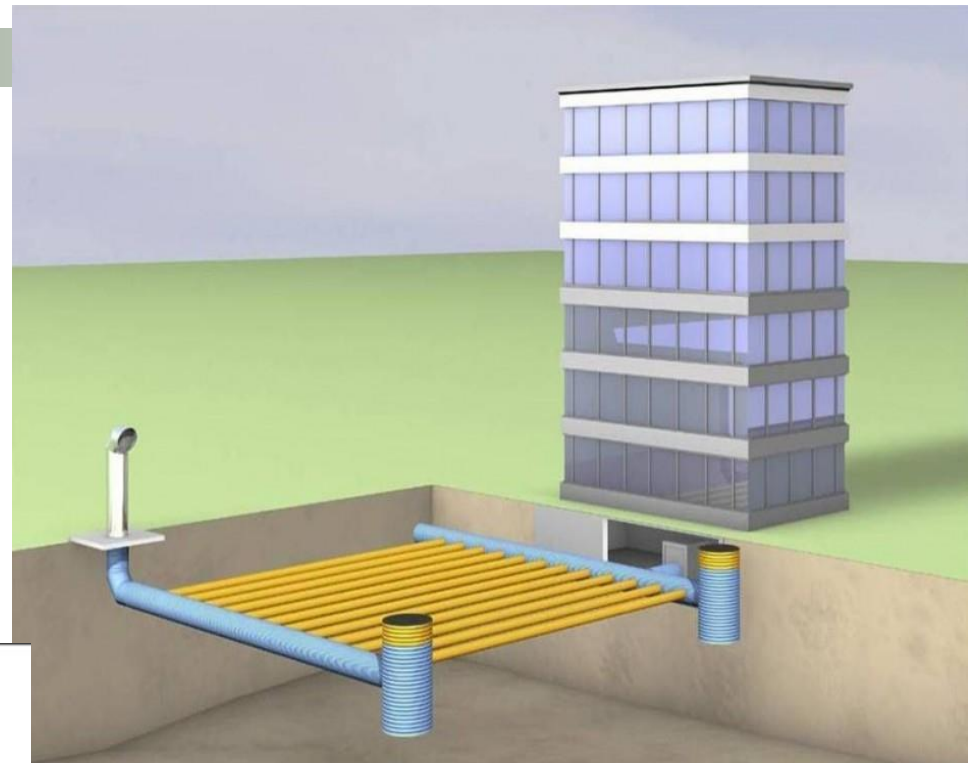
- *Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej do ogrzania/schłodzenia powietrza.*
- *W lecie można całkowicie zrezygnować z instalacji klimatyzacyjnej.*
- Efekt klimatyzacyjny uzyskany dzięki gruntowemu wymiennikowi powietrza tworzy zdecydowanie wyższy komfort mieszkania oraz stabilny i równomierny rozkład temperaturowy w pomieszczeniach. (Często narzekamy na klimatyzatory- na łatwość przeziębienia oraz bóle głowy; zapewnia jedynie chłodne powietrze lokalnie, blisko klimatyzatora.)
- Zapewnia stały dopływ świeżego, higienicznego i przefiltrowanego powietrza do centrali wentylacyjnej.
- Ponadto proces schładzania powietrza latem w GPWC prowadzi do powstania wody kondensacyjnej, czyli wykroplenia wilgoci zawartej w powietrzu. Obniżenie wilgotności powietrza latem wpływa zdecydowanie na poprawę jakości powietrza i obniża odczucie ciężkiego oraz parnego powietrza.

Korzyści GPWC

- Średnio dla domu jednorodzinnego o powierzchni użytkowej ok. 150 m² moc grzewcza samego GPWC waha się w granicach 3-4 kW
 - Kolektory gruntowe charakteryzują się wydajnością na poziomie od ok. 10W/m² do 35W/m² przy czym wydajność zależy od rodzaju gruntu.
- Grunty piaszczyste suche są najmniej wydajne, najbardziej grunty wodonośne.

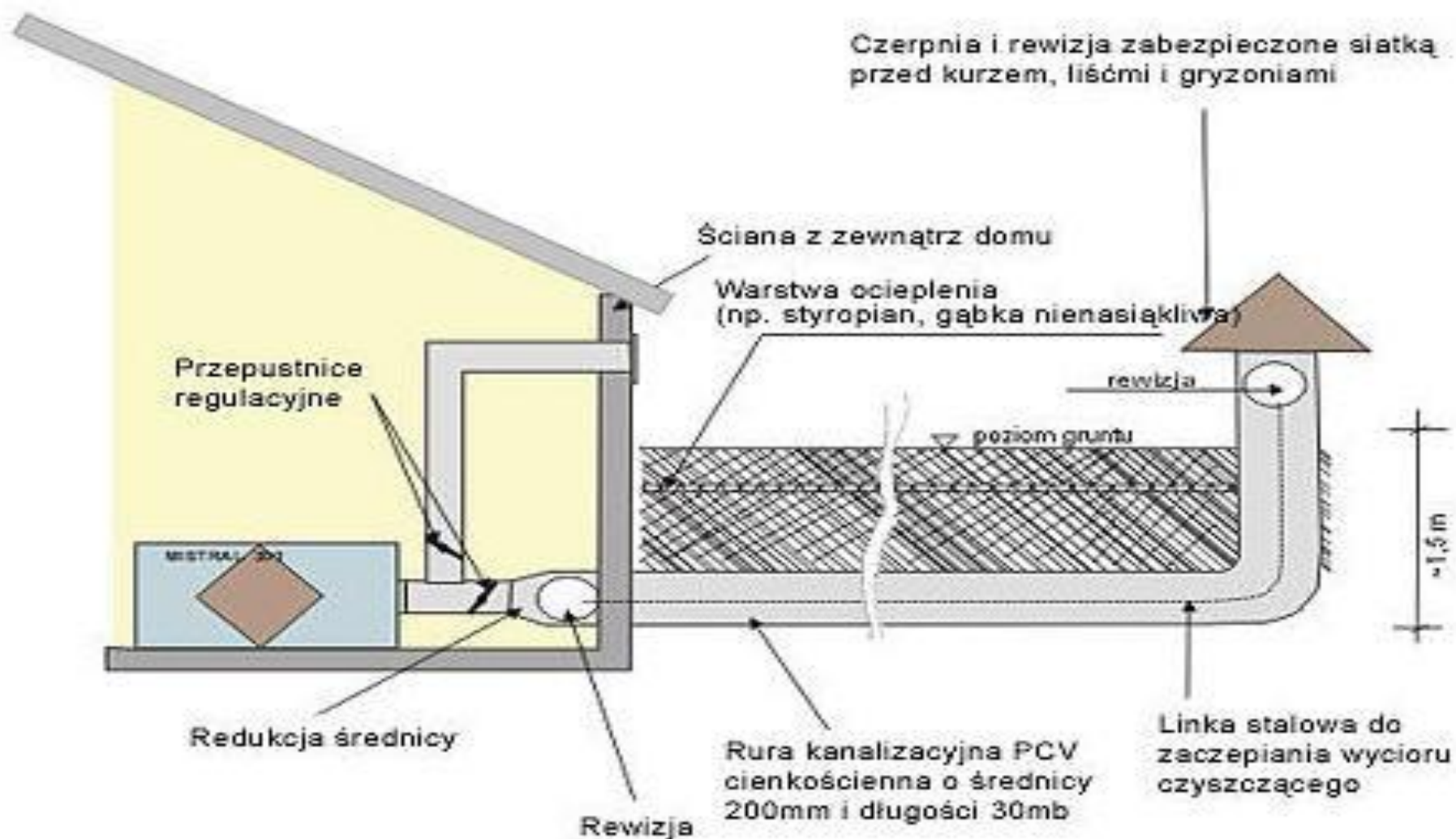
Rodzaje GPWC

- Rurowe,
- Płytowe oraz
- Żwirowe,



Rurowe GPWC

Rury (zwykle PP) umieszcza się na głębokości 1,2-1,8m (średnio 1,5m) zagęszczając wokół nich grunt.



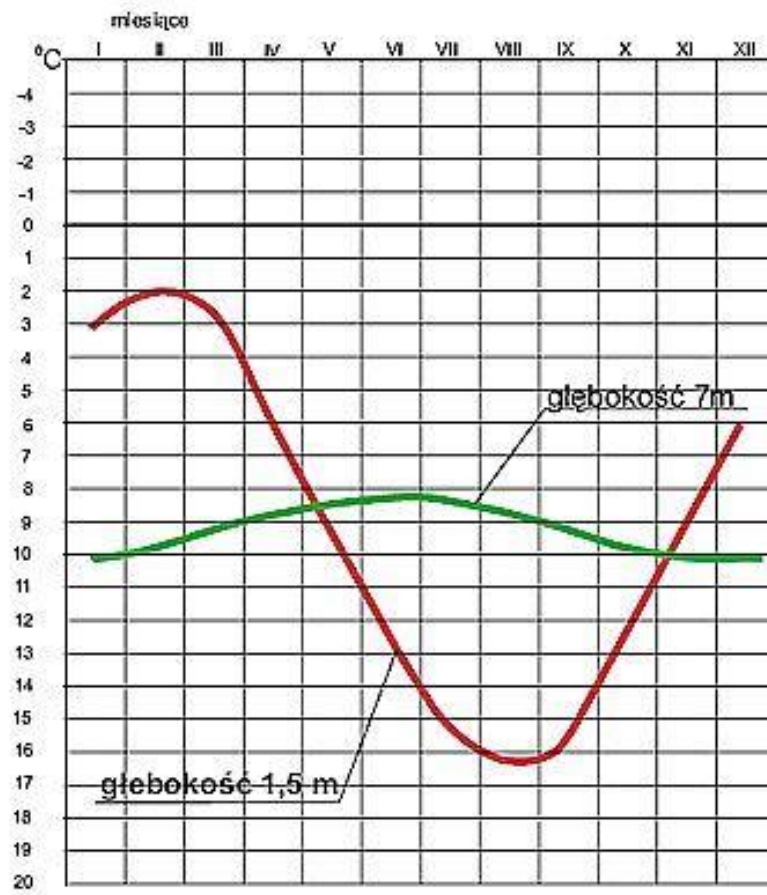
Ułożenie rur GPWC?

Nie ma obowiązku zachowania szczególnych przepisów w zakresie ułożenia rur czy wykonywania podsypki. Zalecane jest użycie gruntu rodzimego zamiast piasku, ponieważ przewodność cieplna piasku jest gorsza niż innych rodzajów gruntu (np. gliny).

Spadek rurociągu powinien wynosić w kierunku przepływu co najmniej 2%. Odpływ kondensatu lub studzienkę zbierającą kondensat należy zainstalować w najniższym punkcie.

- W celu zapewnienia stałych warunków oraz pożądanej częstotliwości wymiany powietrza, **prędkość przepływu powietrza powinna mieścić się w granicach 1 – 3 m/s.** Przekroczenie tej prędkości wpływa negatywnie zarówno na stratę ciśnienia, jak i wymianę ciepła.

Generalnie można wyróżnić dwa typy instalacji: pierścieniową (jednorurową) lub w formie Tichelmann'a, (~~Typ Harfy~~)

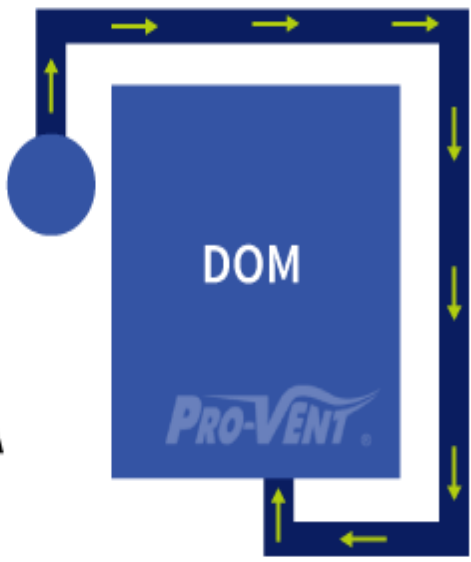




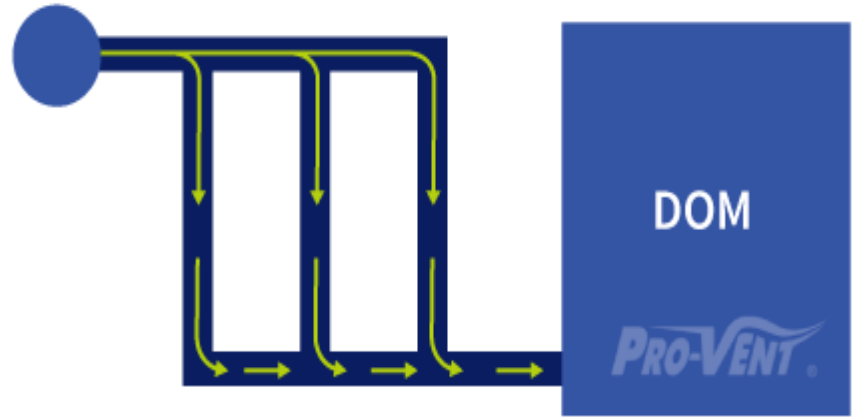
UKŁAD PIERŚCIENIOWY



UKŁAD BŁOKOWY

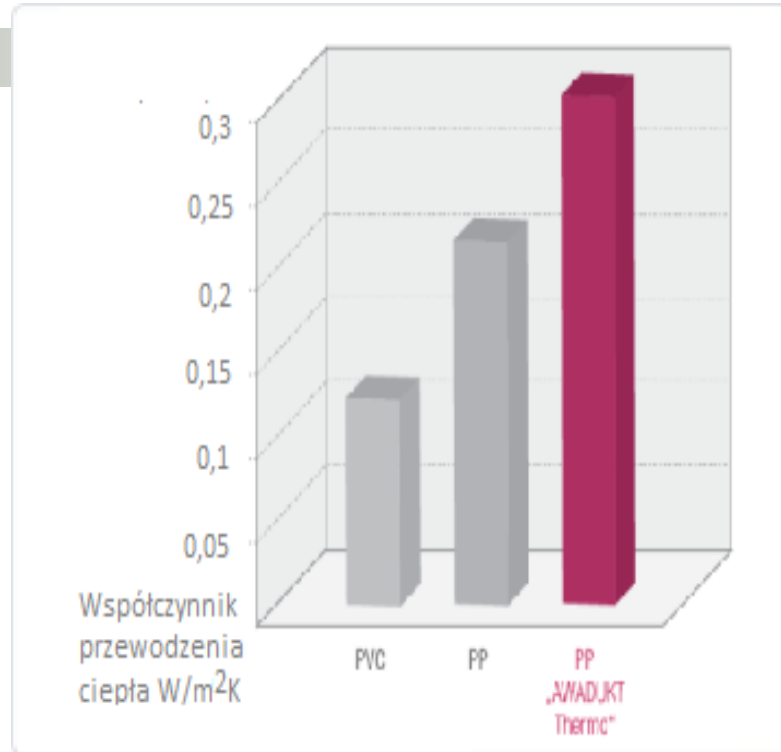


-  CZERPNIĄ POWIETRZA
-  RURA WYMIENNIKA GRUNTOWEGO



Rodzaj rur !

- **Zwykłe rury PVC** są zbudowane z materiału, który nie jest przeznaczony do wymiany ciepła z gruntem.
- Konieczne są rury (o podwyższonej przewodności cieplnej) polipropylenowe przeznaczonych do GPWC.
- Umożliwia optymalną wymianę ciepła między zasysanym powietrzem a gruntem, co przekłada się na bardzo wysoką sprawność systemu.
- . Dodatkowo ze względu na działanie izolacyjne zamkniętego powietrza nie należy stosować rur kanalizacyjnych z rdzeniem spienionym lub rur dwuściennych strukturalnych.





Wymiennik gruntowy rurowy

Rury są całkowicie szczelne, nie przepuszczając wody gruntowej, korzeni roślin, gryzoni itp.

Dopływ powietrza do instalacji odbywa się za pośrednictwem czerpni gruntowej umieszczonej w przewiewnym miejscu.

Rura elastyczna GWC Ø160 PE-FLEX®
50mb służy do transportowania powietrza w **instalacjach Gruntowego Wymiennika Ciepła (GWC)** w systemach wentylacji mechanicznych z odzyskiem ciepła (rekuperacji) w budynkach mieszkalnych.







Obliczanie GPWC

- PN-EN ISO 13790 *Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczenia zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia* [2]
- PN-EN 15241 *Wentylacja budynków. Metody obliczania strat energii w budynkach spowodowanych wentylacją i infiltracją powietrza* [3].
- Dokument ten podaje uproszczony model przeponowego (rurowego) gruntowego wymiennika ciepła, który umożliwia
 - obliczenie średniej miesięcznej temperatury powietrza wypływającego z GWC
 - strumienia ciepła przepływającego z gruntu do powietrza w zależności od prędkości przepływu i charakterystycznych parametrów przewodu,
 - przy całorocznej eksploatacji wymiennika.

- **Strumień ciepła przekazany do powietrza**
- Wartości średniego strumienia ciepła Q możliwego do przekazania z gruntu do powietrza mogą przybierać wartości dodatnie oraz ujemne.
- W przypadku tych pierwszych powietrze przepływające przez wymiennik ogrzewane jest od cieplejszego gruntu. W drugim przypadku powietrze jest ochładzane przez grunt.

$$Q = AS \cdot U_d \cdot \left(T_G - \frac{T_{AirIn} + T_{AirOut}}{2} \right), \text{ W}$$

U_d – współczynnik przenikania ciepła przewodu powietrznego, $W/(m^2 \cdot K)$;

Temperatura gruntu

- Przedstawiona w normie [3] metoda pozwala na obliczenie temperatury gruntu w zależności od :
 - głębokości położenia przewodów
 - rodzaju gruntu,
 - średniorocznej temperatury powietrza zewnętrznego,
 - maksymalnej i minimalnej średniej miesięcznej temperatury powietrza zewnętrznego.

- Wspomniane temperatury są charakterystyczne dla lokalizacji obiektu – dane niezbędne do obliczeń dla wszystkich stacji meteorologicznych na terenie Polski przedstawiono w **tabeli**

Stacja meteorologiczna	Średnia miesięczna temperatura powietrza zewnętrznego, °C											Amplituda rocznych zmian temperatury ΔT_{r} , °C															
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		XII														
Białystok	-4,9	-2,0	1,7	7,3	13,2	15,9	17,3	14,5	12,1	7,1	1,6	-1,3	11,1	Mikołajki	-3,9	-2,3	3,0	5,1	13,6	15,5	17,4	16,5	10,7	8,3	2,7	-1,0	10,7
Bielsko-Biala	-1,7	-2,3	4,9	8,0	12,4	16,2	19,2	17,1	15,1	8,9	4,4	0,1	10,8	Miawa	-2,3	-1,2	2,6	7,5	13,1	15,7	16,5	15,7	12,1	7,1	3,1	-1,5	9,4
Bydgoszcz	-6,7	0,0	0,0	6,6	14,2	14,5	17,3	16,4	11,0	8,1	5,2	1,9	9,0	Nowy Sącz	0,5	0,8	2,9	8,3	12,7	15,1	19,7	16,6	13,6	7,5	3,0	0,7	9,6
Chojnice	-0,7	-3,8	3,5	5,9	11,5	15,6	16,0	16,5	11,8	7,2	2,0	-0,5	10,2	Olsztyn	-3,6	-2,9	2,5	5,5	10,9	15,4	17,7	16,5	12,8	6,3	1,9	-0,5	10,7
Częstochowa	-3,7	-0,8	4,4	8,0	14,9	15,7	18,0	17,1	13,2	8,8	3,4	-1,4	10,9	Opole	-0,6	-0,2	4,3	8,9	12,9	17,7	16,9	18,4	13,9	9,4	4,7	0,3	8,5
Elbląg	-1,9	-2,0	1,6	6,4	11,7	15,2	16,4	15,5	13,1	7,8	3,2	0,1	9,2	Ostrołęka	-0,5	-1,5	2,6	7,3	14,6	16,4	17,9	17,0	11,0	5,8	2,0	-1,0	9,7
Gdańsk	2,0	1,2	3,5	7,7	10,7	15,5	18,7	16,3	14,5	8,7	4,0	1,9	8,8	Piła	-0,3	-0,3	3,0	7,8	14,2	15,9	16,3	17,4	12,8	10,1	3,7	-0,6	8,0
Gorzów Wielkopolski	0,3	0,5	5,1	8,3	12,7	17,4	18,5	18,6	13,8	8,1	3,2	0,6	9,2	Płock	-0,9	-2,7	3,3	8,8	12,3	17,1	17,3	18,2	13,5	9,3	3,9	-0,4	10,5
Hel	0,0	0,2	2,6	6,1	9,7	15,0	18,0	17,4	13,3	9,2	4,6	2,5	9,0	Poznań	0,2	-1,0	2,7	8,3	13,0	16,0	18,3	18,4	13,5	7,0	2,2	-0,1	10,1
Jelenia Góra	-1,5	-2,4	4,6	8,3	11,6	15,0	16,5	15,3	12,0	7,7	4,5	0,5	9,5	Przemysł	-4,9	-2,4	2,7	8,5	13,5	16,3	17,5	18,0	14,2	7,4	1,9	-1,2	11,5
Kalisz	-0,7	-1,1	1,9	6,9	12,7	16,8	17,8	17,5	13,8	8,5	1,9	-0,8	9,5	Racibórz	-0,1	-0,8	5,4	8,8	13,6	16,0	17,7	17,8	14,4	9,2	2,3	-0,5	9,3
Kasprowy Wierch	-4,9	-7,9	-4,2	-2,8	1,8	4,8	6,3	7,3	3,6	-1,3	-4,6	-6,4	7,6	Resko	-1,2	-0,7	5,9	7,0	12,1	15,1	17,1	16,4	13,1	10,5	4,3	1,7	9,2
Katowice	-1,9	-2,4	3,0	8,2	13,4	16,0	17,8	17,7	13,0	9,3	4,2	-2,0	10,1	Rzeszów	-4,6	0,3	1,0	8,0	12,5	16,0	16,9	17,7	14,3	6,8	2,0	-1,2	11,2
Kętrzyn	-4,1	-3,9	1,8	8,1	13,6	15,4	16,3	16,1	13,6	8,3	1,1	-0,7	10,2	Sandomierz	-1,1	-1,5	3,5	8,4	14,9	16,1	17,4	17,6	13,1	8,1	2,9	-0,3	9,6
Kielce	-1,2	-2,1	0,5	7,5	13,0	15,2	17,7	16,0	12,7	8,5	2,3	0,0	9,9	Siedlce	-2,1	-1,9	0,2	7,2	14,0	16,5	17,5	17,0	12,4	7,9	3,5	-1,6	9,8
Kłodzko	-0,6	-1,6	4,5	7,3	13,8	14,7	16,8	16,7	12,7	8,1	1,7	-1,4	9,2	Stubice	0,7	-1,1	5,0	8,7	13,3	15,7	18,1	16,4	13,0	10,8	3,5	2,0	9,6
Koło	-0,6	1,8	2,7	8,0	14,1	17,5	15,9	17,5	13,7	8,8	4,1	-0,9	9,2	Sulejów	-0,4	-2,0	2,5	7,7	12,7	15,9	17,1	17,1	12,3	8,3	3,5	-0,6	9,6
Kolobrzeg	0,7	2,6	4,3	5,0	11,9	13,9	15,7	16,5	13,3	8,0	5,9	2,5	7,9	Suwałki	-5,3	-4,9	1,3	6,8	13,6	15,7	16,1	15,6	12,4	6,8	0,1	-2,3	10,7
Koszalin	-0,8	-0,8	4,3	6,1	11,6	13,3	16,7	16,2	14,1	9,1	3,6	2,0	8,8	Szczecin	1,1	-0,2	4,0	7,8	12,7	15,9	17,6	17,5	13,9	8,0	4,9	2,0	8,9
Kraków	-1,3	-2,6	3,2	8,3	13,4	18,2	17,5	17,5	13,8	9,3	1,9	-0,8	10,4	Szczecinek	-0,1	-1,0	2,5	6,1	10,1	14,7	17,2	16,2	13,0	8,8	5,6	1,2	9,1
Krosno	-0,9	-2,8	4,9	9,7	13,3	17,4	19,5	17,5	12,8	7,1	-0,5	-1,2	11,2	Śnieżka	-4,0	-5,3	-4,3	-0,8	3,5	6,3	10,8	8,6	6,7	2,3	-0,6	-4,2	7,7
Legnica	1,8	-0,8	4,4	8,1	13,2	16,5	18,5	17,8	13,3	9,3	4,0	1,7	9,7	Świnoujście	0,5	-0,9	4,6	8,8	11,7	16,0	16,8	17,4	13,9	11,0	5,2	2,2	8,5
Lesko	-0,8	0,6	4,8	7,6	12,4	15,2	15,5	16,9	12,7	9,7	3,1	-0,7	8,9	Tarnów	-0,8	-0,7	6,6	8,4	14,1	16,5	17,0	17,6	14,2	11,1	3,7	-0,3	9,2
Leszno	-0,4	-4,3	-0,2	6,8	12,7	17,1	16,3	17,0	13,4	8,3	4,9	1,4	10,7	Terespol	-2,9	-3,1	3,3	9,8	13,7	16,8	18,1	16,3	12,1	8,0	2,3	-1,3	10,6
Lębork	1,1	-0,3	0,5	6,3	11,9	15,6	17,1	15,4	13,0	8,8	3,5	1,8	8,7	Toruń	-0,7	-0,9	3,3	6,8	13,6	17,2	17,0	16,3	13,6	7,7	2,4	1,2	9,1
Lublin	-2,6	-1,9	3,2	9,2	14,4	16,2	16,9	16,9	12,8	8,5	1,3	-2,1	9,8	Ustka	-0,3	0,2	3,3	5,1	9,7	14,4	16,2	16,4	12,9	9,3	5,2	2,1	8,4
Łeba	-0,4	-0,3	3,3	5,9	10,8	14,7	17,0	17,3	13,2	10,0	2,6	0,1	8,9	Warszawa	-1,2	-0,9	4,4	6,3	12,2	17,1	19,2	16,6	12,8	8,2	2,9	0,8	10,2
Łódź	-1,0	-1,0	3,3	7,6	13,5	16,6	17,5	17,8	12,9	6,6	3,8	0,7	9,5	Wieluń	-1,3	-1,5	5,1	7,4	12,5	17,7	17,7	17,9	13,5	9,5	4,0	-1,4	8,7
														Włodawa	-2,5	-3,4	2,8	7,9	13,3	16,6	16,4	17,2	12,9	8,1	0,8	-1,1	10,9
														Wrocław	-0,4	-0,7	2,8	7,3	12,7	17,3	16,0	17,8	13,4	8,9	3,8	-1,1	9,5
														Zakopane	-2,8	-2,3	1,1	5,0	9,8	12,7	14,3	13,1	11,2	4,6	1,5	-3,0	8,7
														Zamość	-2,6	0,0	2,5	6,7	11,4	15,8	16,4	16,8	12,7	6,4	-0,1	-1,2	10,5
														Zielona Góra	-0,3	-0,7	2,9	8,2	12,8	16,3	18,2	17,6	13,7	6,1	4,0	0,1	9,5

$$T_G = g_m \cdot \left[T_{AM} - AH \cdot \Delta T_A \cdot \sin \left(\frac{2 \cdot \pi}{8760} \cdot (JH - VS + 24,25) \right) \right], \text{ } ^\circ\text{C}$$

- TG – temperatura gruntu, °C;
- gm – współczynnik korekcyjny zależny od rodzaju gruntu, wg tabeli 2;
- TAM – średnioroczna temperatura powietrza zewnętrznego, °C;
- AH – współczynnik poprawkowy amplitudy;
- ΔTA – amplituda rocznych zmian temperatury powietrza zewnętrznego, °C;
- JH – numer godziny w roku;
- VS – przesunięcie krzywej.

Materiał gruntu	Przewodność cieplna, W/mK	Gęstość, kg/m ³	Ciepło właściwe, J/kgK	Współczynnik korekcyjny gm
Grunt wilgotny	1,5	1 400	1 400	1,00
Suchy piasek	0,7	1 500	920	0,90
Wilgotny piasek	1,88	1 500	1 200	0,98
Wilgotna glina	1,45	1 800	1 340	1,04
Mokra glina	2,9	1 800	1 590	1,05

Wartości współczynnika poprawkowego amplitudy umożliwiają uwzględnienie bezwładności gruntu, która zależy od głębokości, na której ułożony został wymiennik. Od parametru tego zależne jest również przesunięcie krzywej – VS. Wartości AH i VS mogą zostać obliczone na podstawie zależności:

$$AH = -0,000335 \cdot h^3 + 0,01381 \cdot h^2 - 0,1993 \cdot h + 1$$

$$VS = 24 \cdot (-0,0195 \cdot h^4 + 0,3385 \cdot h^3 - 1,0156 \cdot h^2 + 10,298 \cdot h + 0,1786)$$

- gdzie:
- h – głębokość położenia przewodów wymiennika (w [3] oznaczana jako depth), m.
- Amplitudę rocznych zmian temperatury powietrza zewnętrznego ΔT_A oblicza się jako różnicę między wartością maksymalną (np. w lipcu) i minimalną (np. w styczniu) średniomiesięcznej temperatury powietrza zewnętrznego, podzieloną przez 2.

$$\Delta T_A = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

■ Temperatura powietrza za GWC

- Niezbędne jest zdefiniowanie strumienia powietrza przepływającego przez GWC oraz jego budowy – długości, liczby kolektorów, średnicy zewnętrznej i wewnętrznej przewodów.
- Konieczne jest także określenie przewodności cieplnej materiału, z którego został on wykonany. Dane dotyczące strumienia powietrza oraz parametrów wymiennika ustala projektant instalacji.

$$T_{\text{AirOut}} = T_G - (T_G - T_{\text{AirIn}}) \cdot e^{\left(\frac{-U_d \cdot AS}{M_{\text{Air}} \cdot C_{p\text{Air}}}\right)}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

T_{AirOut} – temperatura powietrza opuszczającego GWC, $^\circ\text{C}$;

T_{AirIn} – temperatura powietrza przed GWC (temperatura powietrza zewnętrznego), $^\circ\text{C}$;

U_d – współczynnik przenikania ciepła przewodu powietrznego, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

M_{Air} – strumień masy suchego powietrza, kg/s ;

$C_{p\text{Air}}$ – ciepło właściwe powietrza, $C_{p\text{Air}} = 1005 \text{ J}/(\text{kg K})$;

AS – pole powierzchni przewodu, m^2 .

d_i – średnica wewnętrzna przewodu, m;
 l_d – długość przewodu, m.

M_{Air} – strumień masowy powietrza, kg/s;

V_{Air} – strumień powietrza przepływający przez GWC, m³/h;

ρ_{Air} – gęstość powietrza, w obliczeniach inżynierskich przyjmowana zazwyczaj jako 1,2 kg/m³ (w [3] oznaczana jako Rho_Air).

$$AS = d_i \cdot \pi \cdot l_d, \quad m^2$$

$$M_{Air} = \frac{V_{Air} \cdot \rho_{Air}}{3600}, \quad \frac{kg}{s}$$

$$U_d = \left(\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{\frac{d_o}{2}}{\frac{d_i}{2}} + \frac{1}{\alpha} \right)^{-1}, \quad \frac{W}{m^2 K}$$

Współczynnik przenikania ciepła przewodu powietrznego zależy od przewodności cieplnej materiału, z którego został on wykonany, współczynnika przejmowania ciepła od wewnętrznej strony przewodu oraz jego średnicy.

Materiał	Współczynnik przewodzenia ciepła λ , W/(m K)
Polietylen PE-HD	0,35–0,52
Polipropylen PP	0,17–0,25
Polichlorek winylu PVC	0,14–0,20

Współczynnik przejmowania ciepła od wewnętrznej strony przewodu obliczany jest ze wzoru:

$$\alpha = \left[4,13 + 0,23 \cdot \frac{\theta_m}{100} - 0,0077 \cdot \left(\frac{\theta_m}{100} \right)^2 \right] \cdot \frac{v_0^{0,75}}{d_i^{0,25}}, \quad \frac{W}{m^2 K}$$

gdzie:

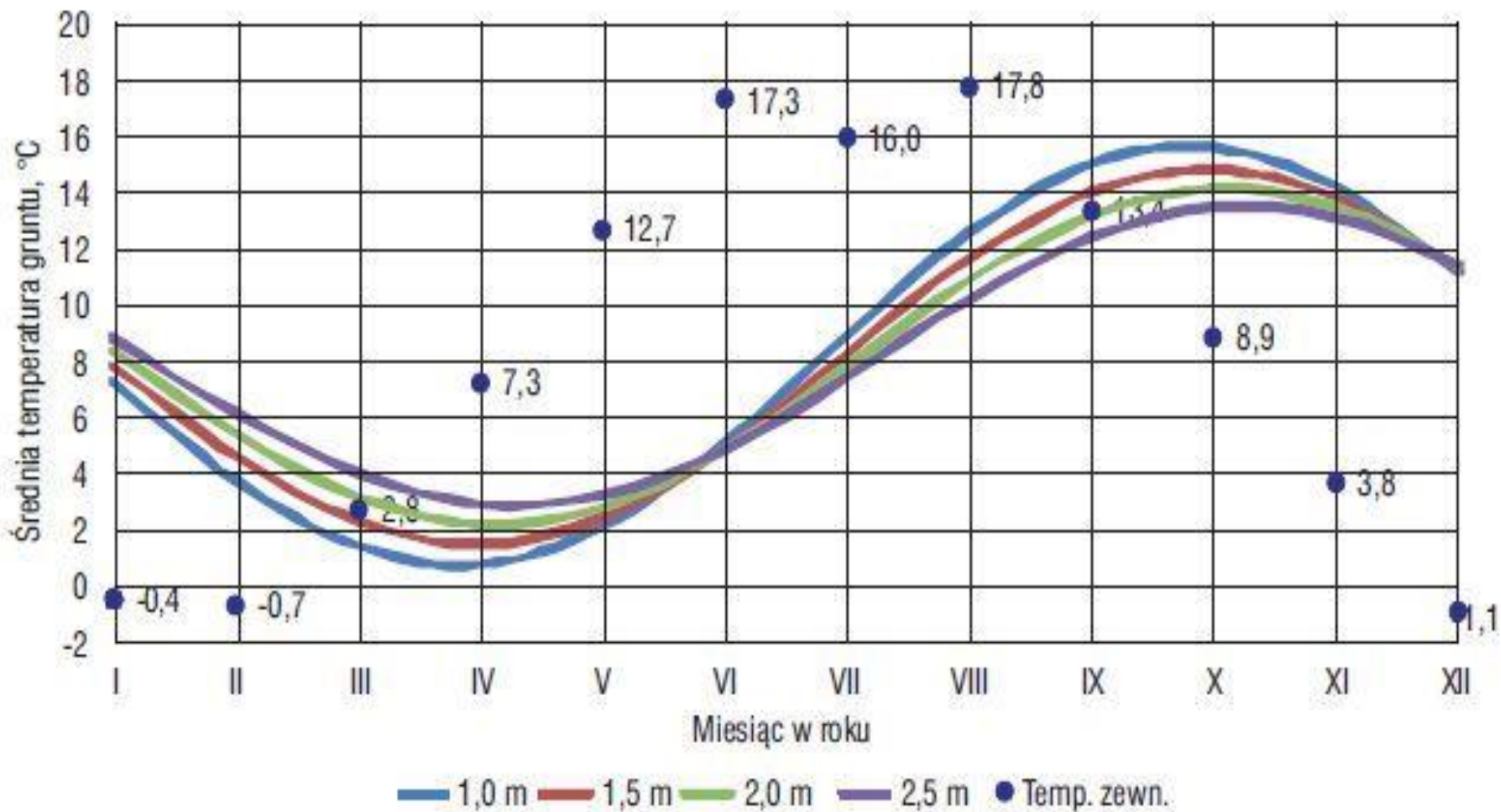
θ_m – średnia arytmetyczna temperatura powietrza dopływającego i wypływającego z wymiennika, °C.

Zgodnie z normą [3] w powyższym równaniu można dokonać uproszczenia, zakładając, że średnia arytmetyczna temperatura powietrza dopływającego i wypływającego z GWC jest równa wartości temperatury powietrza do niego dopływającego $\theta_m = T_{AirIn}$. Dokładne określenie wartości θ_m jest możliwe poprzez wykonanie iteracji obliczeń, jednak wyniki uzyskane dzięki uproszczeniu cechują się wystarczającą dokładnością na potrzeby inżynierskie.

Przykładowo, różnica w wynikach pomiędzy metodą uproszczoną a iteracyjną w prezentowanym poniżej rachunku wyniosła mniej niż 0,5%.

■ Przykładowe obliczenia


- Wyniki obliczeń ilości energii oraz efektywności energetycznej GWC uzyskanej z gruntu dla przykładowego budynku jednorodzinnego wentylowanego mechanicznie, zlokalizowanego we Wrocławiu.
- Założony strumień powietrza wentylującego wynosi $300 \text{ m}^3/\text{h}$, a trzy kolektory wymiennika mają łączną długość 60 m .
- Wymiennik został wykonany z rur PE-HD o przewodności cieplnej $0,45 \text{ W}/(\text{m K})$ i średnicy zewnętrznej 110 mm oraz ułożony w gruncie wilgotnym.
- Na **rys.** przedstawiono średnie temperatury gruntu w ciągu całego roku dla czterech przykładowych głębokości ułożenia rur wymiennika. Podano również średniomiesięczne wartości temperatury zewnętrznej dla wybranej lokalizacji.



Rys. 1. Średnia temperatura gruntu oraz średniomiesięczna temperatura zewnętrzna dla Wrocławia

-
- Głębokość ułożenia przewodów 1,5 m.
 - Informacje zawarte na **rys.** uzasadniają przebieg temperatury za GWC pokazany w **tabeli** – najniższa temperatura powietrza opuszczającego wymiennik gruntowy występuje w okresie wiosennym, kiedy temperatura powietrza zewnętrznego utrzymuje się na stosunkowo wysokim poziomie.
 - W okresie takim, żeby nie następowało niepożądane wychłodzenie powietrza dostarczanego do budynku, wykorzystywana powinna być dodatkowa czerpnia (np. terenowa lub ścienna) pozwalająca na dostarczenie do budynku powietrza z pominięciem GWC.

Miesiąc	Temp. powietrza zewn. $T_{Air_{zaw}}$ °C	Temp. powietrza za wymiennikiem $T_{Air_{Ovt}}$ °C	Średni strumień ciepła Q, W	Uzysk energii z GWC Q_{GWC}^{cz} , kWh	Zapotrzebowanie na energię dla wentylacji Q_{wvb} kWh	Efektywność energetyczna GWC η_{GWC}	Efektywność energetyczna odzysku ciepła η_{oc}	Energia użytkowa dla wentylacji Q_{vvt} kWh
I	-0,4	7,4	1275	586	1525	0,38	0,91	1401
II	-0,7	4,4	821	341	1396	0,24	0,89	158
III	2,8	2,4	-59	wyłączony	1289	-	0,85	193
IV	7,3	1,8	-887	wyłączony	922	-	0,85	138
V	12,7	3,0	-1586	wyłączony	543	-	0,85	82
VI	17,3	5,6	-1917	-848	193	możliwe chłodzenie		
VII	16,0	8,7	-1184	-542	301	możliwe chłodzenie		
VIII	17,8	12,0	-948	-419	158	możliwe chłodzenie		
IX	13,4	14,1	104	48	492	0,10	0,86	67
X	8,9	14,5	926	411	805	0,51	0,93	59
XI	3,8	13,3	1558	715	1214	0,59	0,94	75
XII	-1,1	10,7	1908	849	1525	0,56	0,93	101

- 
- W **tabeli 4** przedstawiono wyniki obliczeń temperatury powietrza za wymiennikiem gruntowym oraz strumienia ciepła przekazanego do powietrza dla ułożenia przewodów na głębokości 1,5 m pod powierzchnią terenu. Otrzymane dane wykorzystano do wyznaczenia rzeczywistej ilości energii przekazywanej w okresie miesięcznym od gruntu do powietrza Q_{GWC}^{rz} .
 - Co ważne, w celu wyznaczenia ilości dostarczanej do powietrza energii nie należy korzystać bezpośrednio z wartości średniego strumienia ciepła Q_{GWC}^{sr} , gdyż wartość ta odzwierciedla możliwą moc wymiennika, a ilość przekazanej energii jest warunkowana również pojemnością cieplną przetłaczanego powietrza.

$$Q_{GWC}^{rz} = \frac{V_{Air} \cdot \rho_{Air} \cdot cp_{Air} \cdot (T_{AirOut} - T_{AirIn})}{3600 \cdot 1000} \cdot \tau,$$

$$Q_{GWC}^{\acute{s}r} = Q \cdot \tau / 1000, \text{ kWh}$$

dzie:

τ – czas pracy wymiennika (liczba godzin w miesiącu), h.

Różnica w możliwej oraz rzeczywiście uzyskanej ilości energii wynika z przyjętych założeń dotyczących minimalnej temperatury powietrza opuszczającego wymiennik. Najczęściej przyjmuje się, że GWC ma pozwolić na uzyskiwanie za nim dodatniej temperatury powietrza w ciągu całego roku, co umożliwia ochronę przed zamarzaniem wymiennika do odzysku ciepła w centrali. Skutkuje to niestety niewykorzystywaniem w pełni jego możliwości w pozostałych okresach roku.

$$Q_{GWC}^{rz} \leq Q_{GWC}^{\acute{s}r}$$

- W kolejnym kroku wykonano obliczenia zapotrzebowania na energię do podgrzania założonych 300 m³/h powietrza – Q_{went} , co pozwoliło ocenić efektywność energetyczną wymiennika gruntowego η_{GWC} .
- Informacja ta oraz założenie sprawności temperaturowej odzysku ciepła w rekuperatorze wynoszącej 85% umożliwiły wyliczenie łącznej efektywności odzysku ciepła η_{oc} oraz zapotrzebowania na energię użytkową dla systemu wentylacji Q_{VE} .

$$Q_{\text{went}} = \frac{V_{\text{Air}} \cdot \rho_{\text{Air}} \cdot c_{p_{\text{Air}}} \cdot (T_{\text{Naw}} - T_{\text{Air,In}})}{3600 \cdot 1000} \cdot \tau, \text{ kWh}$$

$$\eta_{\text{GWC}} = \frac{Q_{\text{GWC}}^{\text{rz}}}{Q_{\text{went}}}$$

- Uwzględnienie pracy GWC i rekuperatora wymaga szeregowego połączenia dwóch urządzeń pozyskujących ciepło dla systemu wentylacji, a ich łączna efektywność może zostać określona wg następującej zależności [1]:

$$\eta_{oc} = [1 - (1 - \eta_{REK}) \cdot (1 - \eta_{GWC})]$$

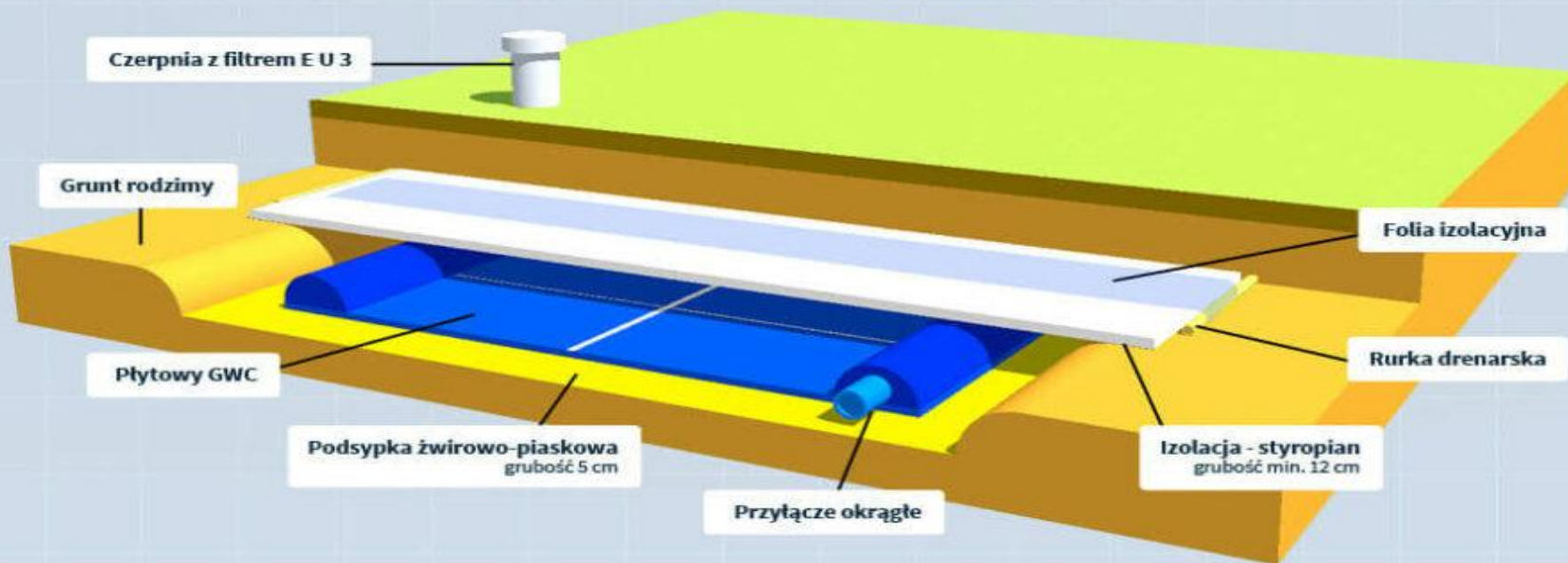
- gdzie:
- η_{REK} – sprawność temperaturowa odzysku ciepła z powietrza wywiewanego w centrali wentylacyjnej.
- W analizie przyjęto wymaganą temperaturę powietrza nawiewanego $T_{naw} = 20^{\circ}\text{C}$.

$$Q_{VE} = Q_{went} \cdot (1 - \eta_{oc})$$

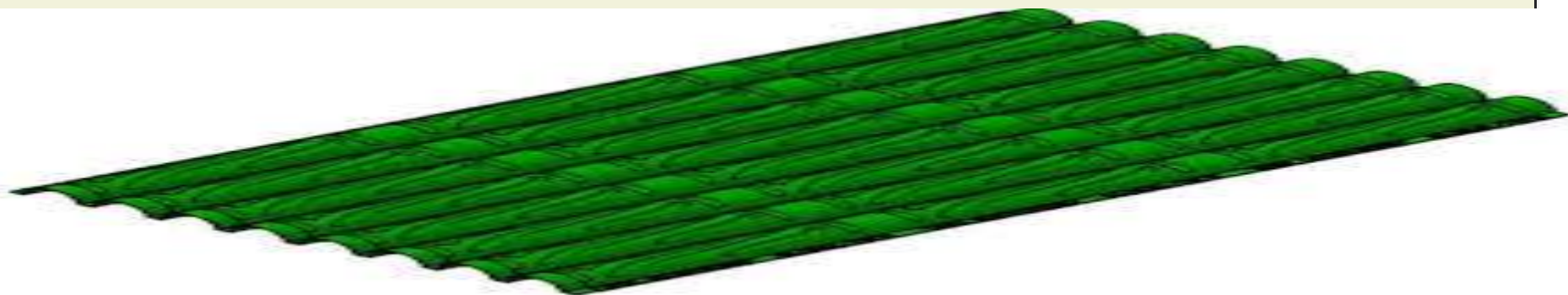
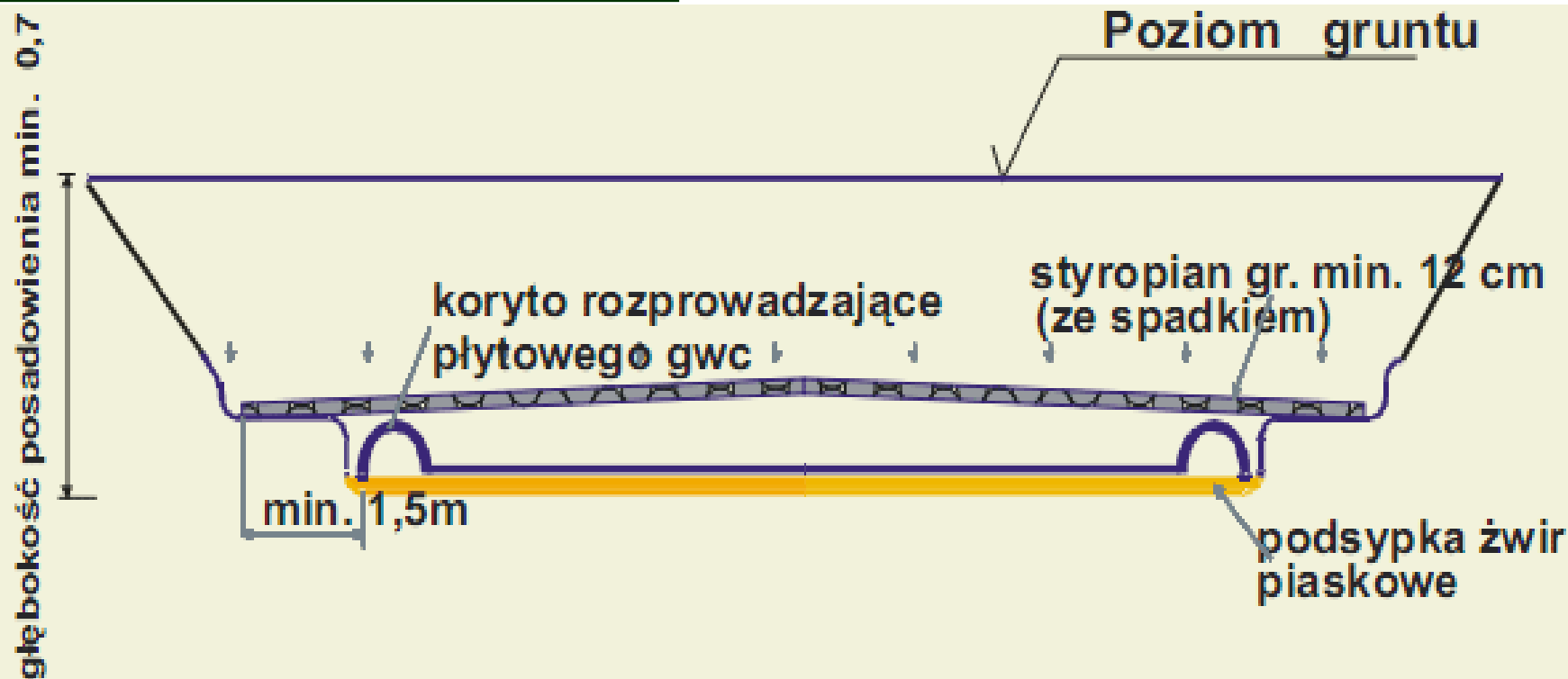
- Pominięto kwestię wpływu parametrów powietrza na rzeczywistą efektywność rekuperatora. Nie uwzględniono również wpływu występowania zysków ciepła w pomieszczeniach – zwiększając temperaturę wywiewu, zmieniają one parametry pracy całego układu.

■ Wymiennik gruntowy płytowy

- Przepływ powietrza odbywa się w tym przypadku systemem płaskich płyt z tworzyw sztucznych umieszczonych między kolektorami zbiorczymi.
- System zapewnia minimalną wysokość i maksymalną powierzchnię wymiany ciepła.
- Może być stosowany w miejscach o ograniczonej powierzchni i wysokości. System jest całkowicie związany z gruntem, tzn. powietrze podczas przepływu od czerpni do centrali wentylacyjnej ma bezpośredni z nim kontakt.
- Rozwiązanie takie zapewnia higieniczność powietrza, ale ogranicza możliwość stosowania w gruntach słabiej przepuszczalnych lub silnie nawodnionych z uwagi na możliwość zalegania wody między płytami a gruntem.

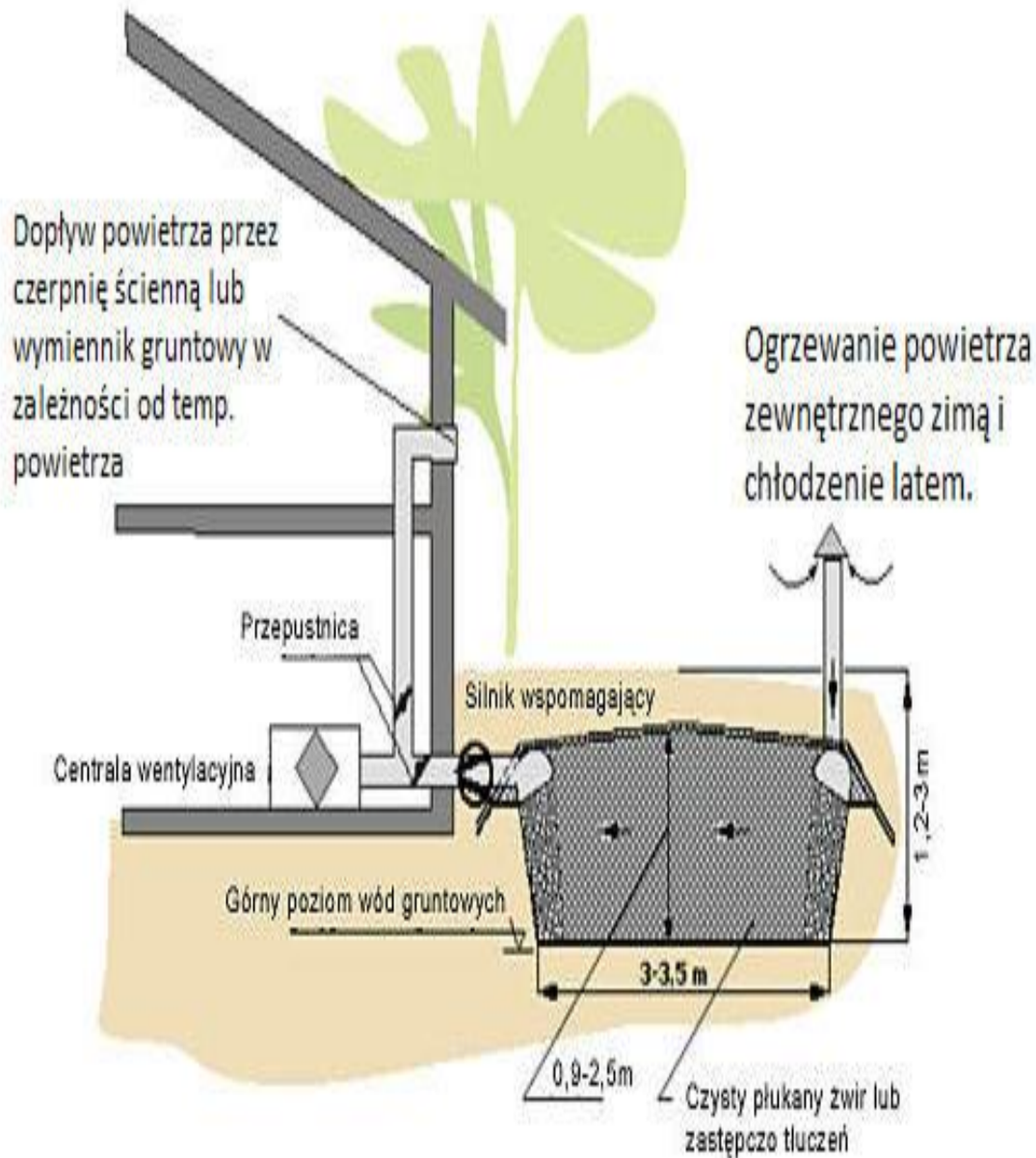


GWC - budowla ziemna, przez którą transportowane jest powietrze służące do wentylacji budynków





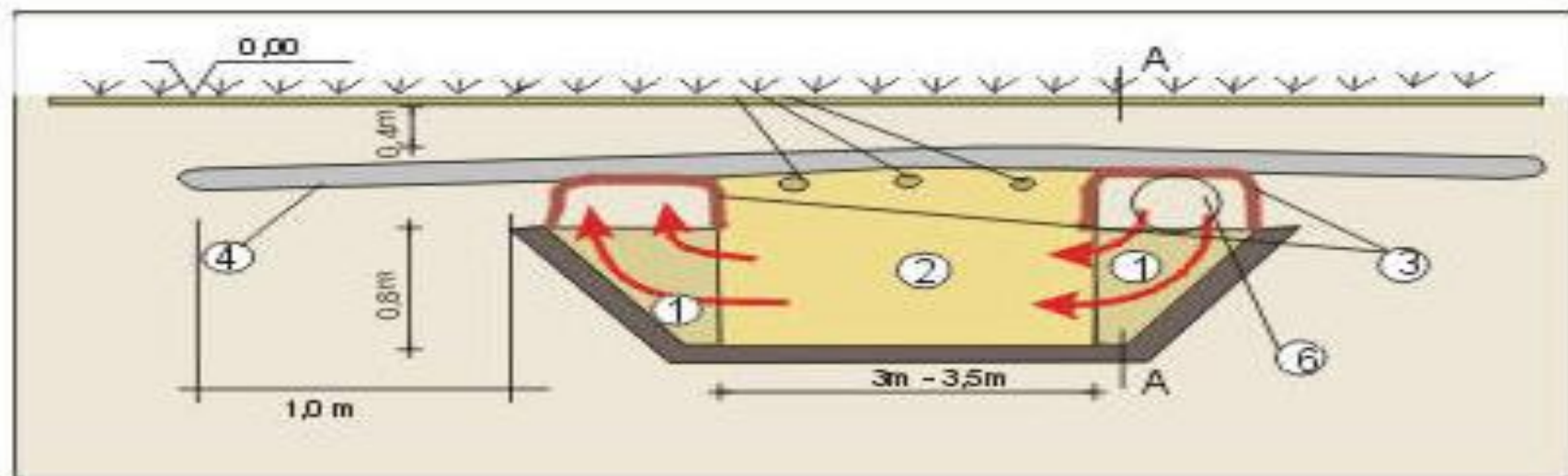
GWC RUROWY (PRZEPONOWY)	GWC PŁYTOWY (BEZPRZEPONOWY)
<p>⊖ uzysk ciepła i chłodu jest ograniczony przez ściankę rury (przeponę), niższa skuteczność cieplna</p>	<p>⊕ maksymalny uzysk ciepła lub chłodu dzięki bezpośredniemu kontaktowi powietrza z gruntem</p>
<p>⊖ problemy z odprowadzeniem skroplonego kondensatu z wnętrza rury, ryzyko pogorszenia jakości powietrza w związku z wilgocią</p>	<p>⊕ bezpośrednie odprowadzenie kondensatu do gruntu, brak problemów z wilgocią</p>
<p>⊖ konieczność stosowania chemicznych powłok antibakteryjnych (np. jonów srebra)</p>	<p>⊕ naturalna flora bakteryjna powstająca pod powierzchnią płyt w naturalny sposób redukuje zarodniki bakterii o 86% i grzybów o 97% (potwierdzone przez PZH)</p>
<p>⊖ temperatura powietrza po przejściu przez GWC zimą może być ujemna, nie ochroni więc rekuperatora przed zjawiskiem zamarzania</p>	<p>⊕ temperatura powietrza po przejściu przez GWC jest dodatnia przez cały rok, eliminacja problemu zamarzania rekuperatora</p>
<p>⊖ potrzebna jest duża powierzchnia do ułożenia orurowania wymiennika</p>	<p>⊕ zwarta budowa, zdecydowanie mniejsza powierzchnia wymiennika</p>
	<p>⊕ naturalne dowilżanie powietrza zimą</p>
	<p>⊕ naturalne osuszanie powietrza latem</p>



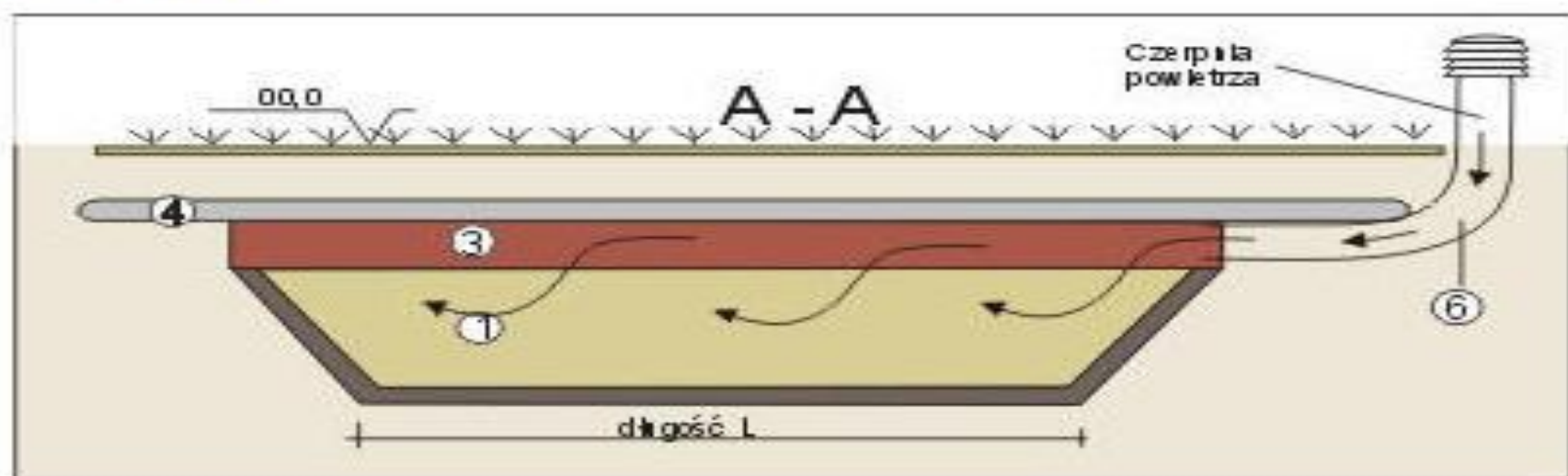
Wymienniki żwirowe

Wykorzystują do podgrzewania powietrza zewnętrznego przepływ powietrza przez specjalnie przygotowane złożo żwirowe.

Wymiennik taki może być umieszczony pod ziemią lub usypany w postaci kopca. Jako wypełnienie wykorzystuje się płukany żwir lub tłuczeń.

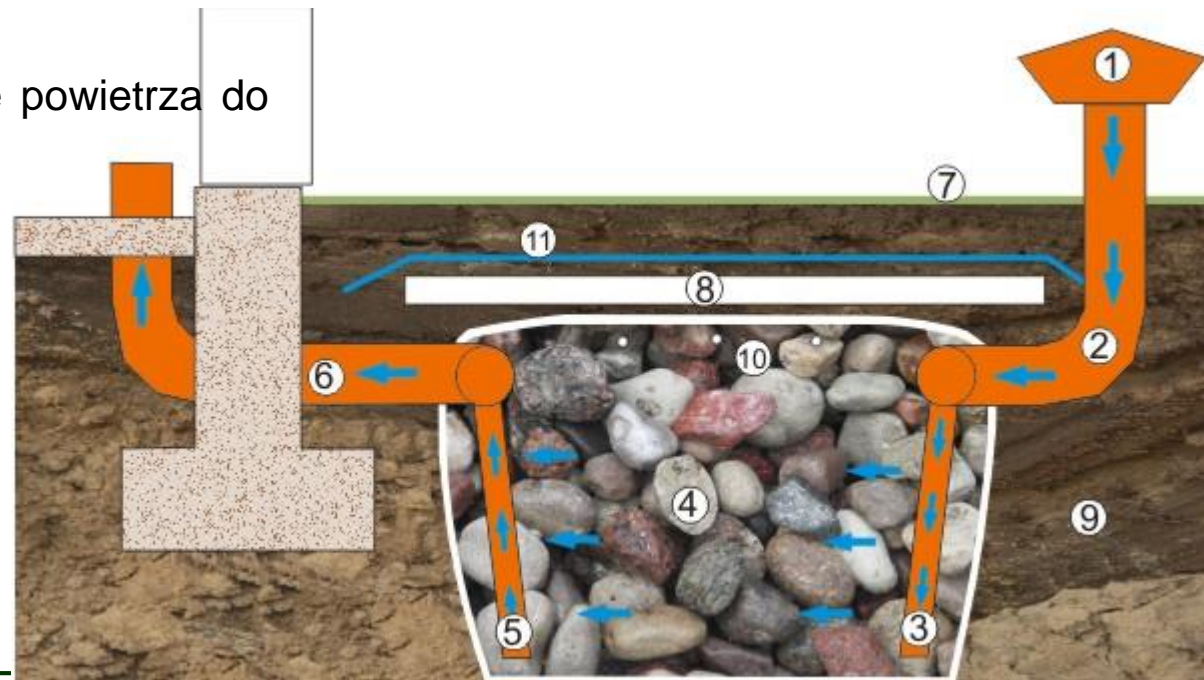
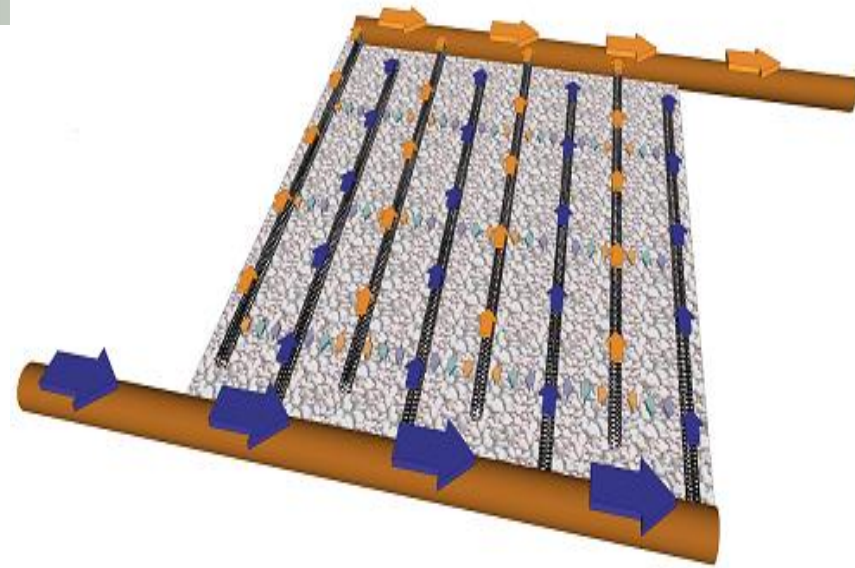


1. Kamień płukany lub łom granitowy o granulacji 60-90 mm
2. Żwir o granulacji 30-50 mm
3. Koryta betonowe
4. Izolacja cieplna grubości 10 cm
5. Rurki zraszające podłoże
6. Kanał do czerpni



Przykład gruntowego wymiennika ciepła opartego na złożu żwirowym:

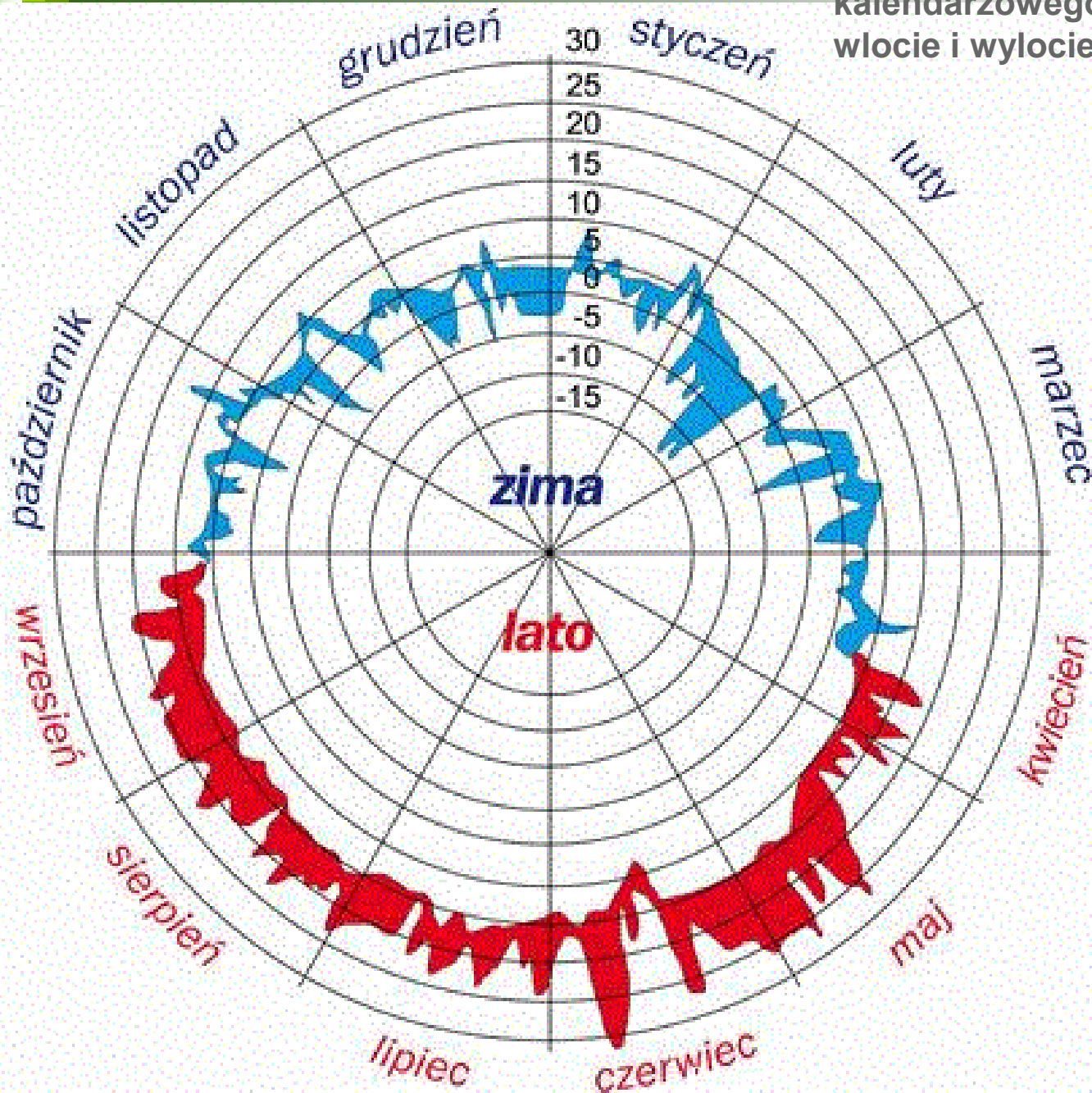
1. Czerpnia powietrza zewnętrznego
2. Kanały rozprowadzający powietrze w poziomie
3. Kanały rozprowadzające powietrze do dna GWC
4. Żwirowe złożo akumulacyjne
5. Kanały zbierające powietrze
6. Poziomy kanał zbierający-ujęcie powietrza do budynku
7. Humus-ziemia, trawa
8. Styropian
9. Grunt rodzimy
10. Instalacja zraszająca
11. Folia



■ Charakterystyka pracy GWC

- Parametry powietrza opuszczającego złoże charakteryzuje się bardzo powolnymi zmianami w czasie i są zauważalne dopiero w dłuższych cyklach.
- Korzystne zjawisko. Niwelowane są wszelkie skoki temperatury powietrza zewnętrznego występujące w ciągu doby, jak również w kolejnych, następujących po sobie dniach, gdy występują gwałtowne ochłodzenia i ocieplenia.
- Jesienią i pod koniec lata temperatura powietrza opuszczającego złoże jest wyższa niż w miesiącach zimowych i wiosennych. Na przełomie sierpnia i września może dochodzić do 22°C przy temp. zewnętrznej $+32^{\circ}\text{C}$. Na przełomie lutego-marca -2°C przy temp. zewnętrznej -20°C , szczególnie przy długim, bardzo silnym "ataku" mrozu w styczniu i lutym.
- Duża bezwładność wymiennika powoduje, że kwartały klimatyczne temperatury złoża są przesunięte w stosunku do pór roku o około 2 miesiące.

Korzyści energetyczne na przestrzeni roku kalendarzowego. Różnica temperatur na wlocie i wylocie z GWC:



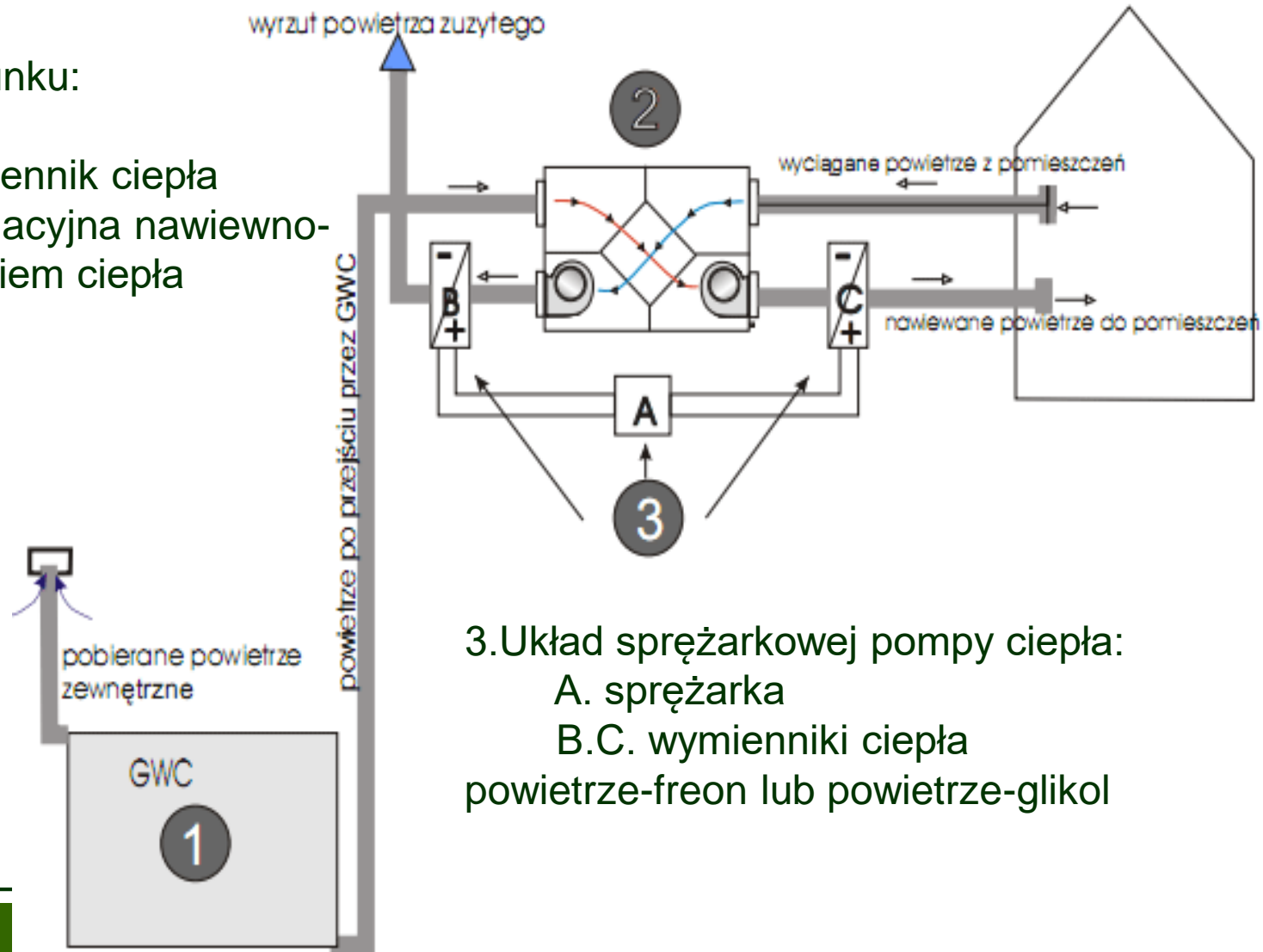
Gruntowy wymiennik ciepła a wody gruntowe

- Gruntowy powietrzny **wymiennik ciepła żwirowy i płytowy** nie sprawdzi się w przypadku wysokiego poziomu wód gruntowych.
- Powierzchnie wymiany ciepła mają bezpośredni kontakt z gruntem. W tych przypadkach wody gruntowe najzwyczajniej zaleją wymiennik ciepła i uniemożliwią przepływ powietrza.
- Natomiast w momencie stosowania rurowego wymiennika powietrznego takiego zagrożenia nie ma.
- Bliskość wód gruntowych wpływa korzystnie na działanie tych wymienników ciepła, ponieważ gwarantuje stałą i wyższą temperaturę gruntu, co przekłada się na wyższą efektywność i wydajność takich instalacji. Dodatkowo zapewniona jest lepsza i szybsza regeneracja cieplna gruntu.
- System rurowego GPWC gwarantuje szczelność na przenikanie wód gruntowych nawet pod ciśnieniem do 2,5 bar

System wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła w połączeniu z gruntowym wymiennikiem ciepła i pompą ciepła

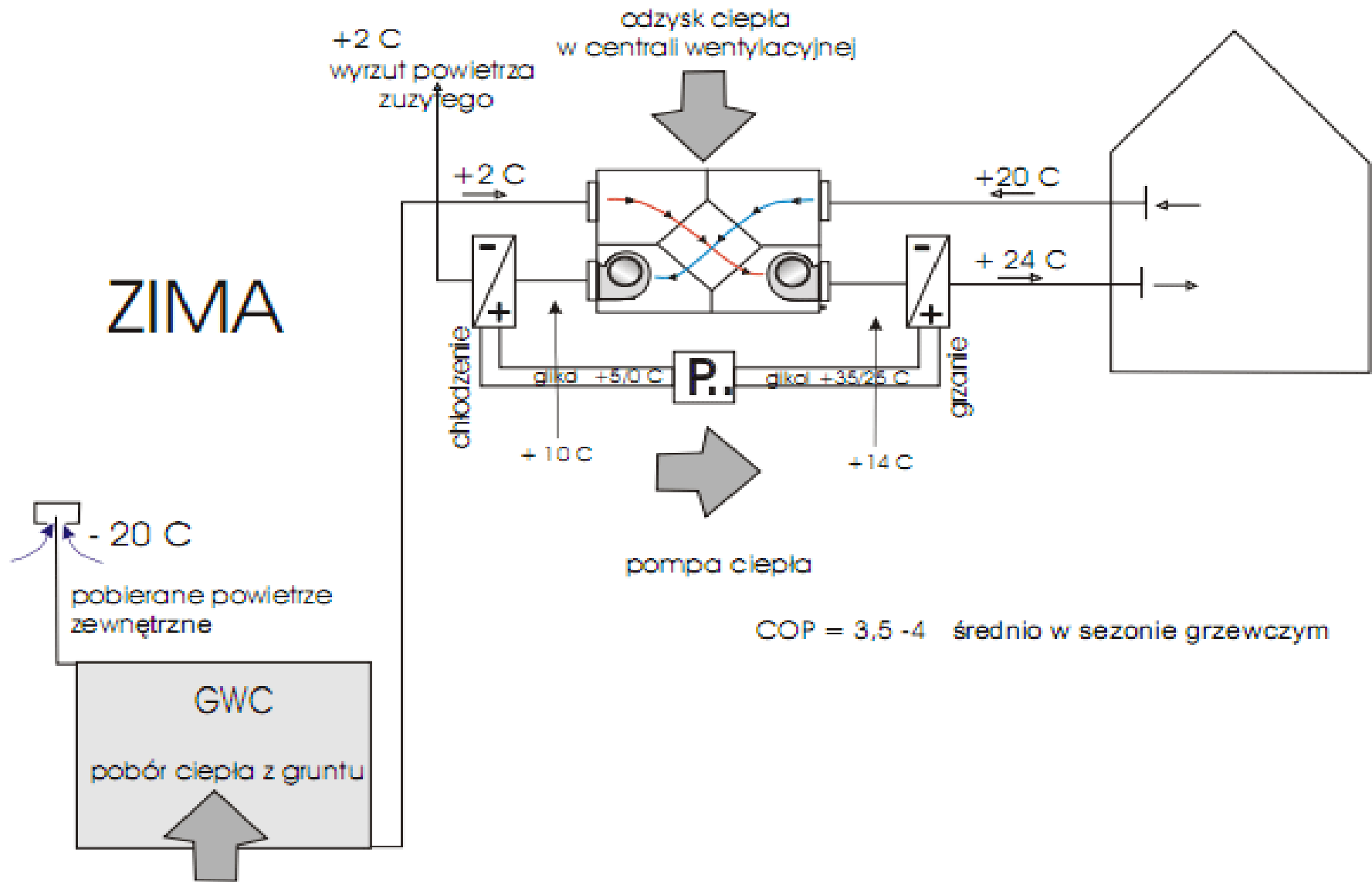
Oznaczenia na rysunku:

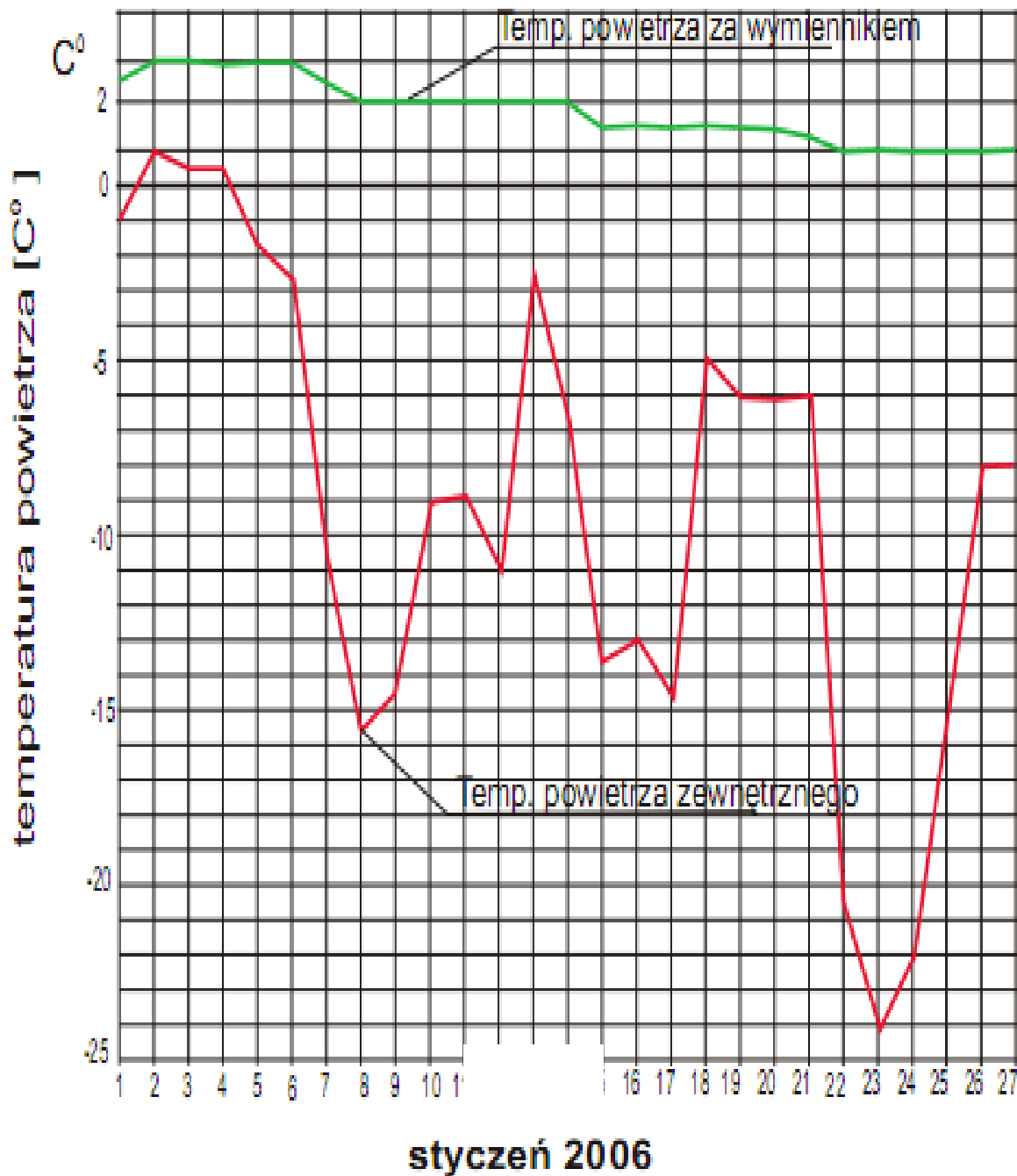
1. Gruntowy wymiennik ciepła
2. Centrala wentylacyjna nawiewno-wywiewna z odzyskiem ciepła



3. Układ sprężarkowej pompy ciepła:
A. sprężarka
B.C. wymienniki ciepła powietrze-freon lub powietrze-glikol

PC –praca zimą -grzanie



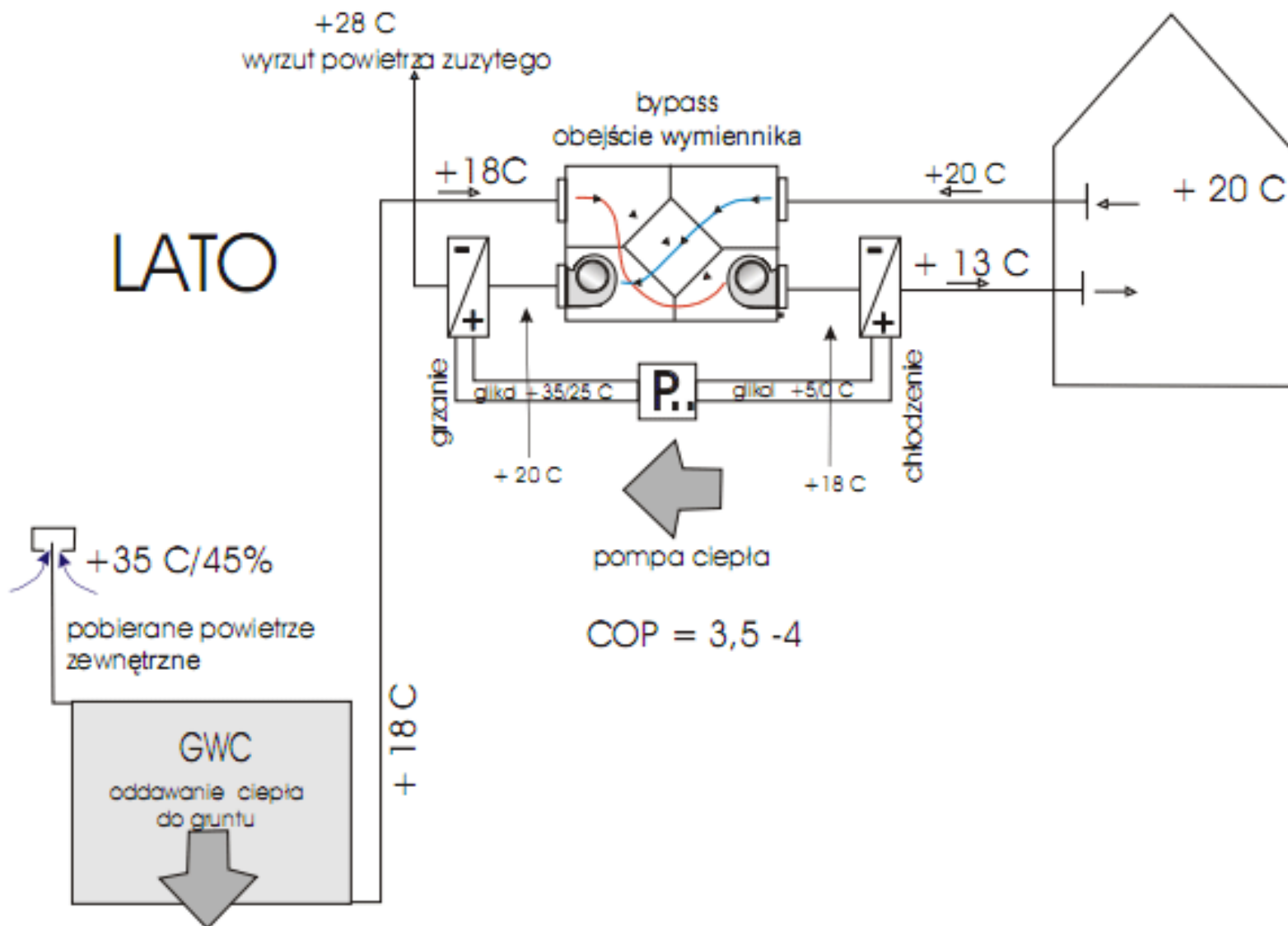


Praca zimą:

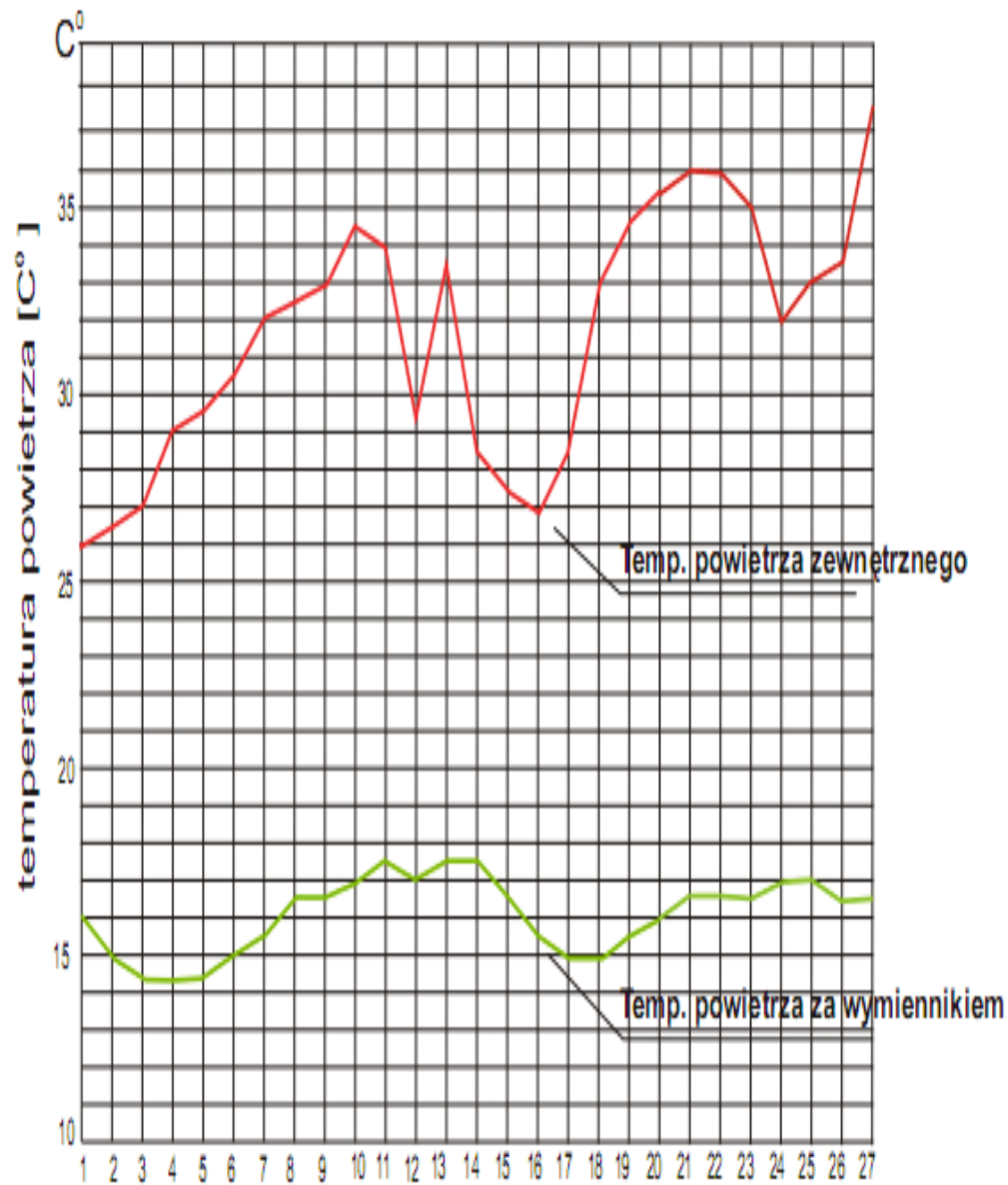
- Temp. Powietrza do 2°C
- Zabezpiecza wymiennik przed zamarzaniem.
- Dowilżanie powietrza

- Podczas mrozów powietrze wentylacyjne jest wstępnie ogrzewane w GWC do temperatury +2- +8 st.C.
- Następnie powietrze to poprzez rekuperację ogrzewa się do temp. około +14 - +16 st.C. Powietrze usuwane z budynku oddaje w tym czasie część ciepła (rekuperacja) i ochładza się do temp. +10-12 st.C.
- Następnie sprężarkowa pompa ciepła P pobiera ciepło z powietrza zużytego ochładzając je o 8-10 st.C.
- Ciepło to ogrzewa świeże powietrze nawiewane do pomieszczeń o 10-12st.C.
- Dla powietrza zewnętrznego o temperaturze np. -20 stopni podgrzanie do temperatury +24 stopni przebiega następująco:
 - GWC ogrzewa o 20-22 st.C.
 - rekuperacja o 12 st.C.
 - pompa P. o 10 st.C.
- Ogrzanie powietrza świeżego w GWC do wartości +2 st.C powoduje podniesienie temperatury powietrza wyrzutowego za centralą do około +10..12 st.C.
- Dodatkowa korzyść z GWC to niezawodny i niezakłócony proces odzysku ciepła (rekuperacji) w centrali wentylacyjnej. Nie występuje wtedy szkodliwe zjawisko szronienia wymiennika ciepła.


PC-praca latem - chłodzenie



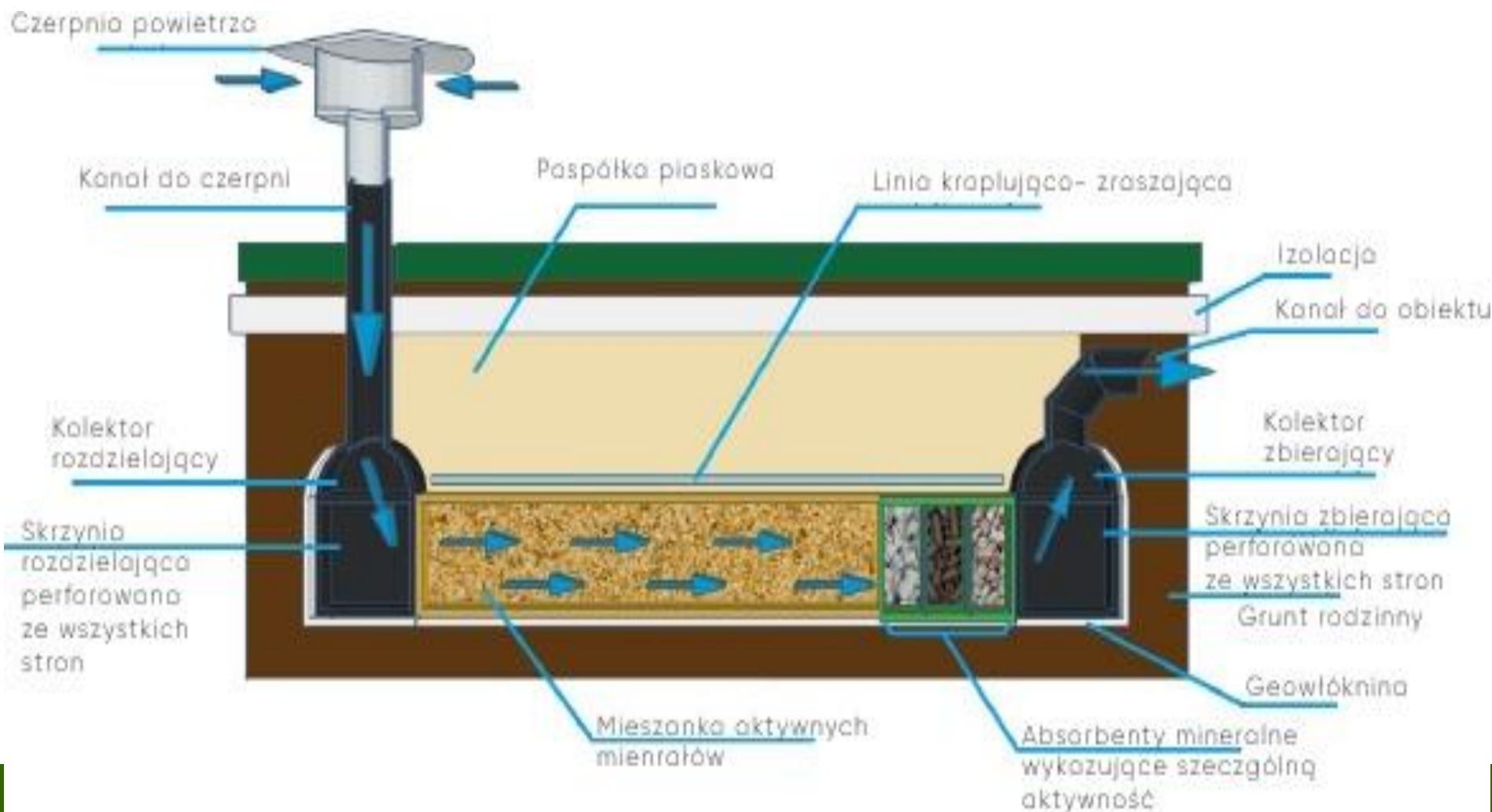
Praca latem



lipiec 2006

- 
-
- Gorące powietrze zewnętrzne ochładza się i osusza w GWC. Następnie w centrali wentylacyjnej powietrze to omija rekuperator obejściem (tzw. bypassem).
 - Temperatura na wylocie jest na tyle niska, że ilość chłodu pozyskana z GWC pokrywa większość zapotrzebowania wentylowanego obiektu.
 - Gdy zaistnieje potrzeba dostarczenia dodatkowej ilości chłodu, załączona zostaje pompa ciepła w cyklu chłodzenia. W efekcie powoduje to dalsze obniżenie temperatury i osuszenie powietrza nawiewanego do budynku.
 - W tym przypadku 75-85% mocy chłodniczej przypada na GWC a 15-25% na pompę ciepła.
 - Ciepło oddawane jest do powietrza zużytego o temperaturze tylko ok. +20st.C.. Dlatego też współczynnik COP jest wyższy niż w typowych układach klimatyzacyjnych.

Gruntowy, mineralny pochłaniacz smogu



Pytania do wykładu IX

- 38. Jakie znasz typy powietrznych gruntowych wymienników ciepła .
- 39. Jakich korzyści może oczekiwać inwestor po zainstalowaniu GPWC
- 40. Jakie kryteria decydują o wyborze typu GPWC