

# Przykładowe profile temperatury wzdłuż gruntowych pionowych wymienników ciepła w systemie grzewczym z pompą ciepła

## *Examples of temperature profiles along ground vertical heat exchangers in a heat pump heating system*

DOI: 10.15199/33.2022.07.14

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia wyniki pomiarów temperatury na wybranych głębokościach wzdłuż pionowych gruntowych wymienników ciepła przy różnej wydajności dolnego źródła w przypadku systemu grzewczego z wykorzystaniem sprężarkowej pompy ciepła. W eksperymencie analizowano wybrane przypadki pracy systemu grzewczego z pompą ciepła – z jednym, dwoma oraz trzema pionowymi gruntowymi wymiennikami, stanowiącymi dolne źródło ciepła. Celem pracy było badanie zachowania się gruntu w przypadku niedoszacowania, dopasowania oraz przewymiarowania dolnego źródła ciepła.

**Słowa kluczowe:** pionowe gruntowe wymienniki ciepła; pompy ciepła.

**Abstract.** The article presents the results of temperature measurements at selected depths along vertical ground heat exchangers with different efficiency of the lower heat source for a heating system based on a compressor heat pump. The experiment analyzed selected cases of operation of a heating system with a heat pump - with one, two and three vertical ground heat exchangers. The aim of the study was to investigate the behavior of the soil in the event of underestimation, adjustment and oversizing of the lower heat source.

**Keywords:** vertical ground heat exchangers; heat pumps.

Gruntowy wymiennik ciepła (GWC) jest istotnym elementem systemu efektywnego wykorzystania energii geotermalnej. Z danych Polskiej Organizacji Rozwoju Technologii Pomp Ciepła wynika, że sprzedaż pomp ciepła w 2021 r. w Unii Europejskiej przekroczyła 2 mln sztuk. Europejskie Stowarzyszenie EHPA (*The European Heat Pump Association*) przewiduje podwojenie udziału pomp ciepła (do poziomu ponad 50%) w rynku urządzeń grzewczych w Europie [1].

Spośród różnych typów GWC powszechnie stosowany jest pionowy gruntowy wymiennik ciepła (PGWC) typu U-rurka. Przegląd gruntowych wymienników ciepła opisują autorzy w publikacjach [2 – 4]. PGWC jest zwykle konstruowany przez umieszczenie w pionowym otworze jednej rury z polietylenu o dużej gęstości w kształcie litery U. Głębokość odwiertów wynosi zwykle do 100 m, a ich średnica 75 – 150 mm.

Maksymalną moc można osiągnąć, stosując technologię gruntowych pionowych wymienników ciepła [5]. Zalety pomp ciepła typu grunt-woda, to zakładana stabilność dolnego źródła energii. Główną barierą stosowania PGWC jest znacznie większy koszt inwestycyjny w porównaniu np. z wymiennikami poziomymi czy systemami na bazie powietrznych pomp ciepła. Najlepszą metodą określania wydajności cieplnej gruntu jest badanie TRT (ang. *Thermal Response Test*) [6 – 7]. Podczas testu określa się przewodność cieplną i opór cieplny otworu wiertniczego. W przypadku małych systemów grzewczych test TRT nie jest wykonywany.

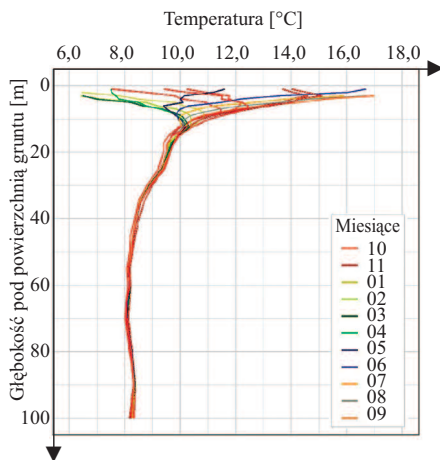
W artykule zaprezentowano monitorowane wartości temperatury oraz wartości współczynnika efektywności (COP) w analizowanym okresie. Jest to rozwinięcie badania opisanego w [8]. Szczegółowe wyniki podobnych badań przeprowadzonych podczas całorocznego monitoringu temperatury odwiertów o głębokości 78 m przedstawiono w [9].

### Stanowisko do badań

Stanowisko laboratoryjne zostało wykonane na Politechnice Białostockiej, w budynku Eko-Inno-Tech. Główne elementy stanowiska badawczego to: pompa ciepła typu VWS 81/3 o mocy 7,8 kW, zbiornik buforowy o pojemności 300 dm<sup>3</sup>, dolne źródło ciepła w postaci trzech gruntowych wymienników ciepła (70, 85, 100 m) oraz niskoparametrowe górne źródło ciepła. COP pompy ciepła wynosi 4,7 (0/35°C). W celu weryfikacji pola temperatury w gruncie wykonano trzy odwierty kontrolne. W każdym z nich do głębokości 100 m zamontowano elektroniczne czujniki temperatury.

Niezaburzone pole temperatury przedstawiono na rysunku 1. Warto zwrócić uwagę na kształt profilu temperatury na głębokości od ok. 10 m do 50 – 60 m. Zgodnie z badaniami przedstawionymi w [10] dla strefy poniżej 8 m temperatura gruntu pozostaje stała i jest równa średniorocznej temperaturze powietrza atmosferycznego. W analizowanym przypadku wyraźny jest spadek temperatury do głębokości 50 – 60 m.

<sup>1)</sup> Politechnika Białostocka; Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku; piotr.rynkowski@gmail.com



**Rys. 1.** Średnia miesięczna temperatura gruntu na poszczególnych głębokościach każdego z odwiertów w przypadku stanu niezaburzonego pola temperatury

*Fig. 1.* Average monthly soil temperatures at particular depths for each of the wells for the state of undisturbed temperature field

Poziomy wodonośne znajdują się na głębokości 59, 118 i 195 m.

Ogrzewane pomieszczenie ma powierzchnię 66,3 m<sup>2</sup>. Obliczeniowe zapotrzebowanie na moc cieplną wynosi 4 744 W. Wymagana, projektowana długość wymiennika ciepła, w przypadku przyjętej jednostkowej wydajności strumienia ciepła 35 W/m, wynosi 136 m. W czasie eksperymentu źródłem ciepła była sprężarkowa pompa ciepła współpracująca z gruntowym wymiennikiem ciepła. Na potrzeby badań przyjęto pięć konfiguracji pracy dolnego źródła ciepła:

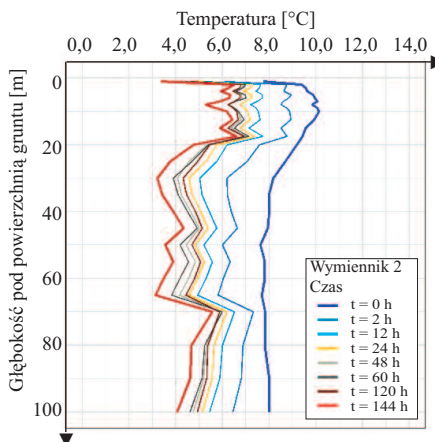
- **wariant 1** – pracuje GWC nr 1 długości 70 m;
- **wariant 2** – pracuje GWC nr 3 długości 100 m;
- **wariant 3** – pracuje GWC nr 1 i 3 długości odpowiednio 70 i 100 m;
- **wariant 4** – pracuje GWC nr 2 i 3 długości odpowiednio 85 i 100 m;
- **wariant 5** – pracuje GWC nr 1, 2 i 3 długości odpowiednio 70, 85 i 100 m głębokości.

## Wyniki eksperymentu

Czas pracy systemu grzewczego, w przypadku każdego z pięciu wariantów, wyniósł pięć – sześć dni. Wahania temperatury gruntu w wybranych krokach czasowych, w pobliżu gruntowego wymiennika ciepła, podczas pracy sys-

temu grzewczego, zostały przedstawione na rysunkach 2 – 4. W każdym z przypadków, przed uruchomieniem systemu grzewczego, grunt był regenerowany przez przerwę w pracy systemu grzewczego. W analizowanym czasie prowadzonego badania nie zaobserwowano wychłodzenia gruntu w żadnym z odwiertów.

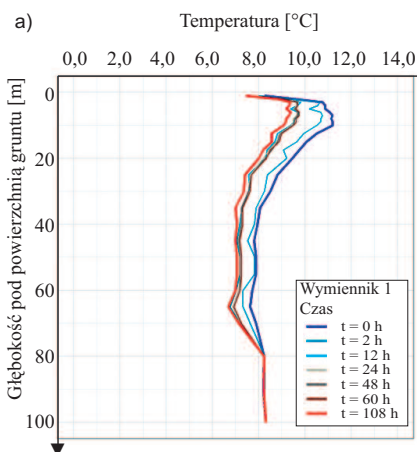
Warianty 1 i 2 przedstawiają najbardziej niekorzystne rozwiązania z punk-



**Rys. 2.** Wahania temperatury w przypadku wariantu 2 – niedoszacowane dolne źródło ciepła (praca tylko jednego wymiennika ciepła, PGWC nr 3)

*Fig. 2.* Temperature fluctuations for variant 2 – underestimation of the lower heat source (operation of only one heat exchanger, PGWC no. 3)

tu widzenia wydajności dolnego źródła ciepła – jeden wymiennik ciepła o długości całkowitej 70 m i 100 m. Teoretycznie moc przekazywana z gruntu do układu jest na poziomie 2 450 W (wymiennik 70 m). Powoduje to niedoszacowanie dolnego źródła ciepła

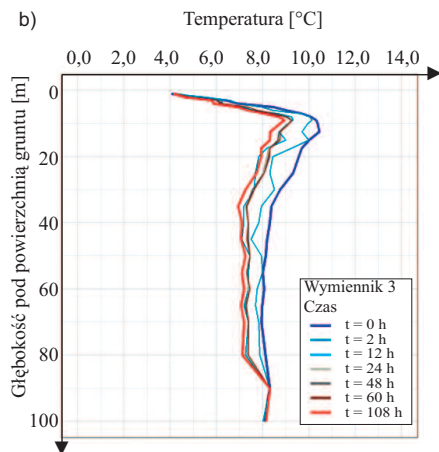


**Rys. 3.** Wariant 3: a) praca wymiennika nr 1; b) praca wymiennika nr 3

*Fig. 3.* Variant 3: a) operation of the exchanger no.1; b) operation of the exchanger no. 3

na poziomie 50%. Po 144 h średnia ważona temperatura wzdłuż wymiennika ciepła wynosi 4,4°C. Zarejestrowany strumień ciepła przekazany do zbiornika buforowego i pobór energii pozwoliły na wyznaczenie współczynnika konwersji COP pompy ciepła, który wyniósł 3,7. W przypadku dłuższej pracy systemu grzewczego może nastąpić dalszy spadek temperatury wokół wymiennika gruntowego i wychłodzenie gruntu. Zwiększenie długości wymiennika w wariantie 2 do 100 m (rysunek 2) nie rozwiązuje problemu. Wydajność dolnego źródła ciepła jest nadal poniżej zapotrzebowania.

Warianty 3 i 4 przedstawiają optymalne rozwiązanie. Wyższa temperatura gruntu jest skorelowana ze wzrostem długości wymiennika gruntowego. Zapotrzebowanie na moc cieplną jest minimalnie poniżej wydajności dolnego źródła i wynosi 4 744 W, a wydajność cieplna gruntu w przypadku wariantów 3 i 4 odpowiednio – 5 950 W oraz 6 475 W. Na rysunku 3 przedstawiono wahania profilu temperatury w poszczególnych krokach czasowych. W każdym przypadku można zaobserwować stabilność temperatury. Jej spadek w gruncie, w pobliżu wymiennika, do ok. 7°C, świadczy o nominalnej pracy systemu. Średnia temperatura gruntu w pobliżu wymienników wynosi 8,1°C oraz 7,3°C w przypadku wariantu 3, natomiast w przypadku wariantu 4 – 7,2°C oraz 7,1°C. Wyraźny jest wzrost współczynnika konwersji COP (tabela).

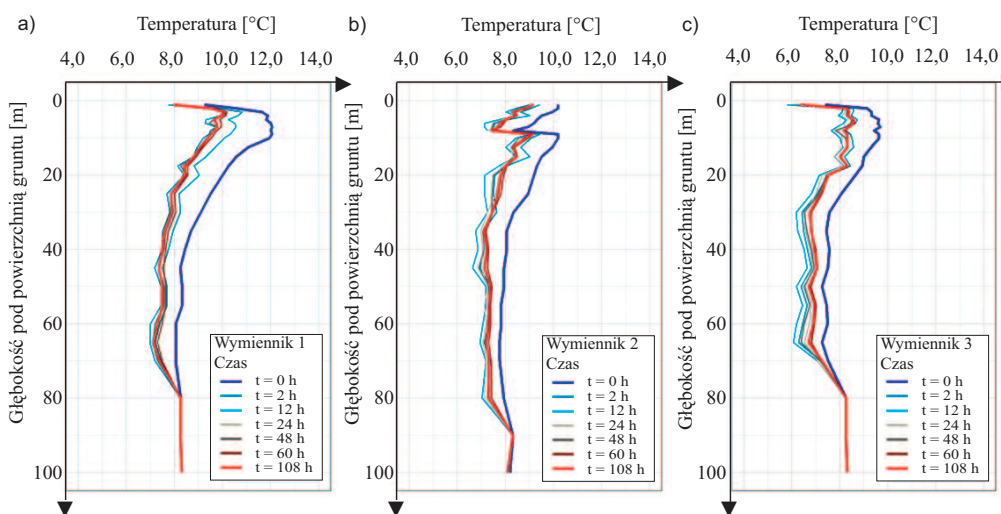


**Wybrane wartości charakteryzujące analizowane warianty pracy systemu grzewczego**  
*Selected values characterizing the analyzed variants of the heating system operation*

Wariant	Średnia temperatura powierzchni zewnętrznej [°C]	Pobór energii elektrycznej przez pompę ciepła [kWh]	Ciepło przekazane przez pompę ciepła do bufora [kWh]	COP w analizowanym okresie [-]	Całkowita długość wymiennika [m]
1	-6,1	79,4	290,9	3,7	70
2	0,8	42,6	172,4	4,1	100
3	-1,1	56,3	238,9	4,3	170
4	-2,0	67,3	279,8	4,2	185
5	-2,5	56,8	236,8	4,2	255

■ zwiększenie długości wymiennika powyżej wartości projektowej nie powoduje wzrostu wartości COP (wariant 5);

■ w każdym przypadku temperatura solanki na wlocie pompy ciepła była powyżej 0°C, a na wlocie do zbiornika buforowego na poziomie 35°C (wg dokumentacji dotyczącej parametrów pracy 0/35°C COP wynosi 4,7).



**Rys. 4. Wariant 5: a) praca wymiennika nr 1; b) praca wymiennika nr 2; c) praca wymiennika nr 3**  
*Fig. 4. Variant 5: a) operation of the exchanger no. 1; b) operation of the exchanger no. 2; c) operation of the exchanger no. 3*

Wariant 5 (rysunek 4) przedstawia rozwiązanie przewymiarowane. Obliczeniowa wydajność źródła dolnego wynosi 8 925 W i dwukrotnie przekracza zapotrzebowanie na moc cieplną pomieszczenia. Średnia ważona temperatura wzdłuż wymienników ciepła to odpowiednio 8,5°C, 7,9°C i 7,7°C. Temperatura ta jest najbliższa niezakłóconemu profilowi temperatury. Mimo stabilnej temperatury związanej z większą długością wymiennika gruntowego nie wpływa to na znaczną poprawę współczynnika konwersji pompy ciepła. Wartość COP jest również na poziomie wariantów 3 i 4.

Przewymiarowanie dolnego źródła ciepła nie wpłynęło pozytywnie na wzrost COP. Niedoszacowanie natomiast dolnego źródła ciepła powoduje wychłodzenie dolnego źródła ciepła, a w efekcie zwiększenie kosztów eksploatacyjnych systemu grzewczego.

## Wnioski

Przedstawione w artykule cele są istotne z punktu widzenia zapoznania się z charakterystyką pracy gruntu i zrozumienia potrzeby dokładnego doboru dolnego źródła ciepła.

Wnioski z przeprowadzonego eksperymentu:

■ COP w poszczególnych wariantach wynosi od 3,7 do 4,3;

■ w każdym wariantcie wartość COP jest poniżej wartości określonej w dokumentacji technicznej pompy ciepła, która wynosi 4,7 (0/35), mimo mniejszej różnicy temperatury pracy pomiędzy górnym i dolnym źródłem ciepła w każdym z wariantów;

■ niedoszacowanie dolnego źródła ciepła powoduje gwałtowny spadek temperatury w gruncie;

■ zmniejszenie wartości COP w przypadku niedoszacowania dolnego źródła ciepła już w pierwszych godzinach pracy systemu o ok. 10%;

## Literatura

- [1] <https://portpc.pl/port-pc-wzrost-o-80-sprzedazy-pomp-ciepła-do-ogrzewania-budynkow-w-2021-r/> (27.06.2022).
- [2] Florides G, Kalogirou S. Ground heat exchangers – a review of systems, models and applications, *Renew. Energy*. 2007; 32 (15): 2461 – 2478.
- [3] ASHRAE. ASHRAE handbook: HVAC applications. Atlanta: ASHRAE, Inc.; 2011.
- [4] Instrukcja Szkoleniowa GeoTrainet dla Projektantów Płytkich Systemów Geotermalnych, podręcznik, projekt GeoTrainet, no. IEE/07/581/S12.499061, 2017.
- [5] Petit PJ, Meyer JP. Techno-economic analysis between the performances of heat source air conditioners in South Africa, *Energy Convers. Manag.* 1998; 39: 661 – 669.

[6] Yu X, Zhang Y, Deng N, Ma H, Dong S. Thermal response test for ground source heat pump based on constant temperature and heat-flux methods, *Applied Thermal Engineering*. 2016; 93: 678 – 682.

[7] Marcotte D, Pasquier P. On the estimation of thermal resistance in borehole thermal conductivity test, *Renew. Energy*. 2008; 33: 2407 – 2415.

[8] Rynkowski P. The influence of the solar-ground heat pump system on the ground temperature in the boreholes and in their vicinity – study based on experimental data, *E3S Web of Conferences*. 2019; 116: 1 – 8, DOI: 10.1051/e3sconf/201911600067.

[9] Fidorów N, Szulgowska-Zgrzywa M. The influence of the ground coupled heat pump's labor on the ground temperature in the boreholes – Study based on experimental data. *Applied Thermal Engineering*. 2015; 82: 237 – 245.

[10] Biernacka B. Badania rozkładów temperatury w gruncie na różnych głębokościach, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*. 2012; 9.

*Praca została wykonana w ramach Grantu nr WZ/WBiS/9/2019 Politechniki Białostockiej i sfinansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego RP.*

*Przyjęto do druku: 28.06.2022 r.*