

OCENA WYDAJNOŚCI ENERGETYCZNEJ WYMIENNIKA GRUNTOWEGO POMPY CIEPŁA W DWÓCH RÓŻNYCH KONFIGURACJACH¹

Kazimierz Rutkowski

Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Przedmiotem badań są dwa pionowe wymienniki pompy ciepła umieszczone w odwiertach głębokości 100 m. Objęte badaniami wymienniki ułożone były w dwóch różnych konfiguracjach, tj. pojedynczego i podwójnego U. Celem badań była ocena wydajności energetycznej wymienników. Dla obydwu wymienników przeprowadzono analizę w zakresie temperaturowym, wydajności cieplnej w okresie jednego cyklu pracy oraz w odniesieniu do jednostki długości wymiennika. W warunkach objętych badaniami wymiennik ułożony w konfiguracji podwójnego U posiada prawie dwukrotnie większą wydajność w odniesieniu do głębokości odwiertu.

Słowa kluczowe: dolny wymiennik, pompa ciepła, grunt, wydajność jednostkowa, konfiguracje

Wprowadzenie

W ostatnich latach badania wybitnych naukowców (prof. Sokołowski, prof. Kozłowski i inni) dowodzą, że Polska należy do krajów o dużych zasobach energii geotermalnej. Korzystanie z tych źródeł wymaga wysokich nakładów inwestycyjnych. Ten argument to jeden z czynników, który uzasadnia przesunięcie czasowe korzystania z tego źródła energii. Mimo uzasadnień Kozłowskiego [2007] o konieczności szybkiej realizacji zadań zmierzających do rozbudowy energetyki geotermalnej na terenie naszego kraju należy się liczyć z tym, że w dużym stopniu będziemy korzystali z innych źródeł energetyki niekonwencjonalnej. Korzystając z energii słońca, wiatru, energii pochodzącej z biomasy czy też niskotemperaturowej energii pochodzącej z gruntu oraz powietrza powinniśmy posiadać duży zasób wiedzy, co pozwoli na uniknięcie wielu błędów. Przy korzystaniu z niskotemperaturowych źródeł ciepła, które mają zasilać pompę ciepła musimy mieć na uwadze, jak podaje Zalewski [1995], następujące czynniki związane z dolnym źródłem ciepła, które powinno charakteryzować się:

- dużą pojemnością cieplną,
- łatwą dostępnością,
- dobrą koherentnością (spójność maksymalnych mocy źródła z maksymalnymi wymaganiami grzewczymi),
- wysoką oraz stałą temperaturą,

¹ Pracę wykonano w ramach realizacji projektu badawczego nr N N313 445137

- brakiem zanieczyszczeń, które mogłyby uszkodzić elementy parownika,
- niską ceną instalacji służącej do odbioru ciepła z tego źródła [Rubik 2011].

Temperatura źródła jest ważną cechą, która ma wpływ na współczynnik efektywności pompy ciepła. Wraz ze wzrostem temperatury, wzrasta sprawność pompy. Dolne źródło ciepła odpowiada za dostarczenie do parownika energii potrzebnej do zmiany stanu skupienia czynnika roboczego (odparowanie). Mając na uwadze wyżej wymienione wymagania często sięgamy po energię pochodzącą z gruntu noszącą nazwę geotermii płytkiej. Wymienniki zasilające pompę ciepła są umieszczane w gruncie w układzie poziomym bądź pionowym. Jak podaje literatura [Čížek 2005] na wydajność cieplną dolnych wymienników pompy ciepła ma wpływ przewodność cieplna, czyli rodzaj gruntu i jego wilgotność. Wymienniki ułożone poziomo są narażone na częstsze zmiany zarówno temperatury jak też wilgotności w ciągu roku. Wymienniki pionowe charakteryzują się bardziej stabilną temperaturą, ale jak podaje Adamovsky [2011] przy długookresowym czerpaniu energii spada temperatura gruntu a tym samym obniża się sprawność pompy ciepła. Wpływem średnicy rur dolnego pionowego wymiennika pompy ciepła oraz oddziaływaniem temperatury gruntu i temperatury medium grzewczego zajmowali się Khalajzaden i in. [2011]. Udowodnili oni, że te dwa parametry mają większy wpływ na sprawność wymiennika niż głębokość odwiertu. Problematyce cieplnych właściwości gleby oraz gruntu wiele uwagi poświęcili Ress i in. [2000]. Analizowali oni zachodzące zmiany temperatury gruntu, a w szczególności stanu wody na współczynnik przewodnictwa cieplnego, termiczną przewodność i ciepło właściwe gruntu. Na podstawie przeprowadzonych badań Hamdeh i in. [2001] udowodnili, że współczynnik przewodności cieplnej gruntu podczas ogrzewania przyjmuje wyższe wartości niż podczas chłodzenia. Właściwości te należy mieć na uwadze przy dwukierunkowym wykorzystywaniu pompy ciepła co będzie miało miejsce przy korzystaniu z pompy w obiektach szklarniowych.

Cel i zakres badań

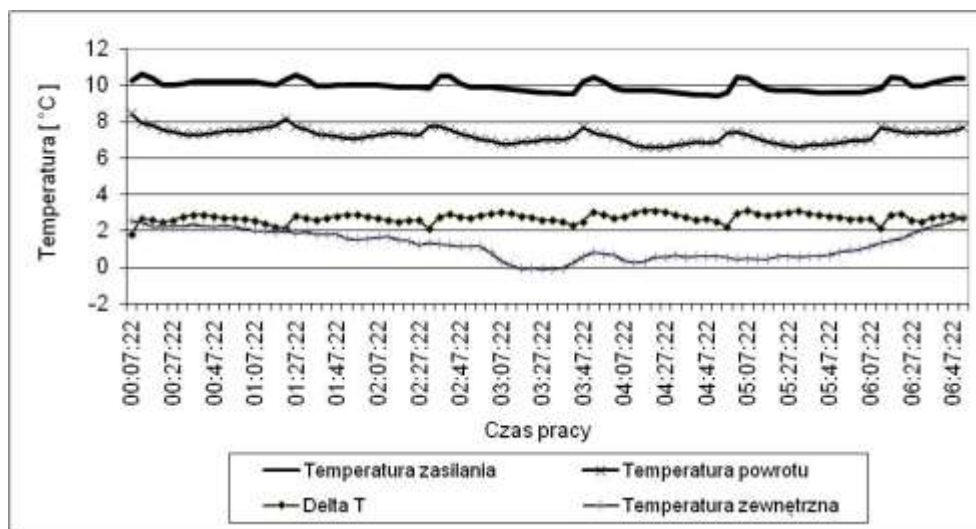
Celem prowadzonych badań jest określenie wydajności jednostkowej wymiennika gruntowego ułożonego pionowo zasilającego pompę ciepła. Wymiennik wykonany jest z rur polietylenowych o średnicy 40 mm ułożonych w dwu różnych konfiguracjach, tj. pojedynczego i podwójnego U. Wymiennik ułożony w konfiguracji pojedynczego U posiada dodatkowo po wewnętrznej stronie ściany rurki spiralne wyżłobienia, których zadaniem jest zmiana charakteru przepływu cieczy przepływającej przez wymiennik. Burzliwy przepływ cieczy winien przyczynić się do zwiększenia wydajności jednostkowej zainstalowanego wymiennika. Rura z takim profilem ścianki wewnętrznej nosi nazwę rury turbo. Pompa ciepła zasilana z dolnych wymienników służy do ogrzewania tunelu foliowego. Układ grzewczy tunelu połączony jest z pompą poprzez zbiornik buforowy pracujący w zakresie temperatur 50-55°C.

Układ kontrolno-pomiarowy wyposażony jest w system pomiaru temperatury oraz przepływu medium krążącego w układzie dolnego wymiennika pompy ciepła. Ponadto cały obiekt doświadczalnego tunelu posiada pełny monitoring parametrów energetycznych. W celu uzyskania dużej dokładności wskazań temperatury przeprowadzana jest okresowo (dwa razy w ciągu roku) kalibracja całego toru pomiarowego wg pieca kalibracyjnego. Rejestro-

wane wielkości fizyczne pozwoliły na przeprowadzenie szczegółowej analizy w zakresie wydajności cieplnej objętych badaniami wymienników ciepła. Prezentowane wyniki badań obejmują okres wiosenny, w którym to analizowany obiekt posiadał duże zapotrzebowanie energetyczne, ale tylko w godzinach nocnych. W ciągu dnia w podłączonym do badanej pompy obiekcie występowały nadwyżki ciepła, które w najbliższym czasie będą przedmiotem badań polegających na kierowaniu nadwyżek ciepła do gruntu poprzez analizowany dolny wymiennik pompy ciepła. System grzewczy podłączony do pompy ciepła tunelu foliowego zasilany był ze zbiornika buforowego pracującego w zakresie temperatur 50-55°C. Taki układ grzewczy pozwalał na cykliczne włączanie pompy ciepła a tym samym stwarzał możliwości regeneracji cieplnej złoża, z którego czerpano energię. W badanym obiekcie ustalono niską wartość temperatury wewnętrznej wynoszącą 2,5°C.

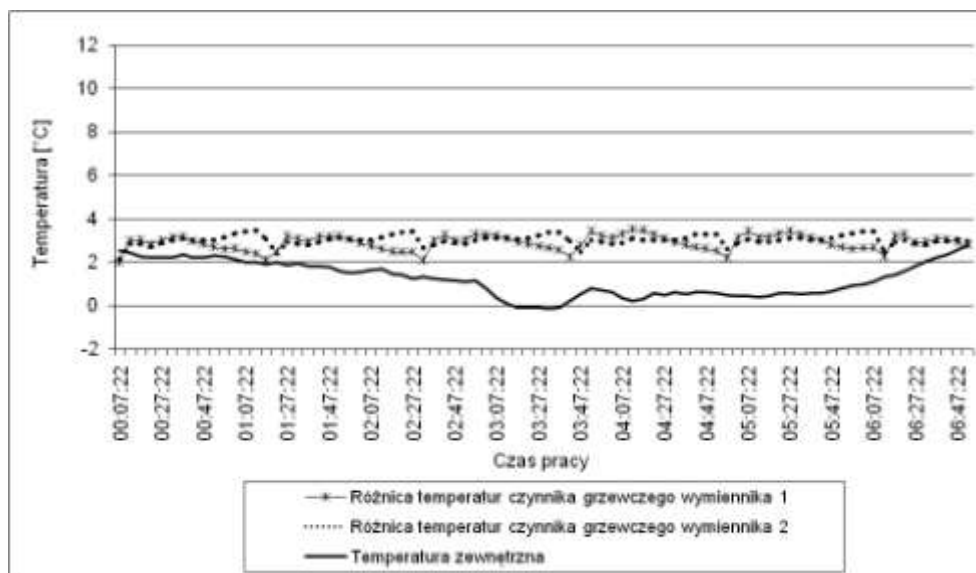
Wyniki badań i ich analiza

Pompa ciepła pracująca w układzie grzewczym tunelu foliowego zasilana była z dwóch dolnych wymienników ciepła w konfiguracji pojedynczego i podwójnego U. Objęty szczegółową analizą czas pracy pompy wynosił 6,8 godzin. Godzinowe zapotrzebowanie mocy podłączonego obiektu pracującego w niskim zakresie temperatur wynosiło około 1,2 kW. Dla zapewnienia warunków termicznych na zadanym poziomie pompa pracowała cyklicznie, gdzie stosunek cyklu czasu pracy do czasu przerwy wynosił średnio 0,21. Stosunkowo długi czas przerwy dolnego wymiennika pompy ciepła pozwalał na regenerację złoża, stąd niewielki spadek temperatury występujący w układzie zasilania pompy widoczny na rysunku 1.



Rys. 1. Temperatura czynnika grzewczego oraz warunki badań dolnego wymiennika pompy ciepła ułożonego w konfiguracji 1U

Fig. 1. Temperature of heating medium and conditions of research on the lower exchanger of heat pump located in 1U configuration

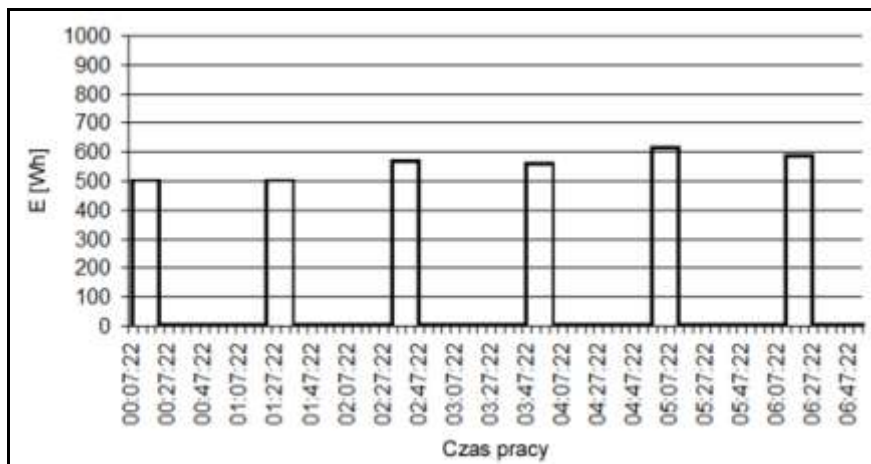


Rys. 2. Temperatura czynnika grzewczego oraz warunki badań dolnego wymiennika pompy ciepła ułożonego w konfiguracji 2U

Fig. 2. Temperature of heating medium and conditions of research on the lower exchanger of heat pump located in 2U configuration

Spadek ten w czasie badań wynosił zaledwie $0,6^{\circ}\text{C}$. W końcowej fazie badań, gdzie zapotrzebowanie na ciepło malało, a czas przerw pracy pompy wydłużał się, praktycznie parametry termiczne złoża wracały do stanu wyjściowego. Śledząc przebieg temperatur w obwodzie dolnego wymiennika pompy ciepła ułożonego w konfiguracji pojedynczego U, ale wykonanego w systemie turbo (rys.1) zauważa się, że różnice temperatur między zasilaniem a powrotem (Δt) wynoszą od $2,1$ do $3,0^{\circ}\text{C}$. Równocześnie należy zauważyć, że temperatura zasilania pompy ciepła ulegała niewielkim wahaniom. Zakres ten wynosił zaledwie $0,6^{\circ}\text{C}$ (przy temperaturze gruntu $9,6$ - $10,2^{\circ}\text{C}$). Analizując uzyskane z badań wielkości temperatur zauważa się, że w warunkach zwiększonego zapotrzebowania ciepła temperatura wymiennika ułożonego w konfiguracji pojedynczego U reaguje w niewielkim zakresie.

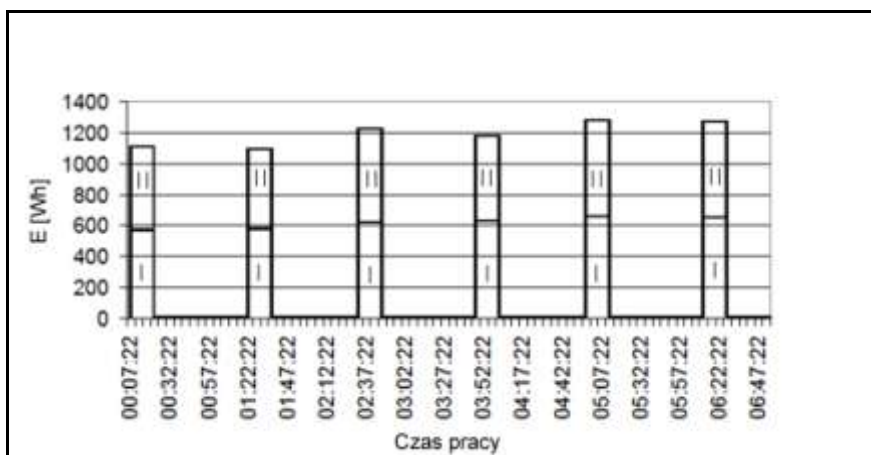
W przyjętych warunkach badań wymiennik pojedynczy turbo zapewniał dostawę energii w jednym cyklu w ilości 500 do $610\text{ W}\cdot\text{h}$ (rys. 3). Jednostkowa wydajność 1 m rury wymiennika (turbo) wynosiła $11,70\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}$. Mając na względzie, że wymiennik ułożony jest na głębokości 100 m z czego 35 m wymiennika znajdowało się wilgotnym podłożu (wg poziomu wód gruntowych) wydajność badanego wymiennika jest na zadawalającym poziomie.



Rys. 3. Ilość pozyskiwanej energii z dolnego wymiennika pompy ciepła ułożonego w konfiguracji 1U

Fig. 3. Amount of the obtained energy from the lower heat pump exchanger located in 1U configuration

Wymiennik pionowy umieszczony w gruncie w konfiguracji podwójnego U w przyjętych warunkach badań dostarcza ponad dwukrotnie więcej energii (rys. 4). Ilość pozyskiwanej energii w poszczególnych cyklach wahała się w zakresie 1150–1280 W·h. W podwójnym wymienniku, mimo identycznej długości rur, zauważa się zróżnicowanie wydajności energii w poszczególnych obwodach. Różnice wydajności grzewczej sięgają 6-11%.



Rys. 4. Ilość pozyskiwanej energii z dolnego wymiennika pompy ciepła ułożonego w konfiguracji 2U

Fig. 4. Amount of the obtained energy from the lower heat pump exchanger located in 2U configuration

Przyczyny istniejącego stanu należy dopatrywać się w występujących różnicach temperatur w poszczególnych obwodach. Śledząc wartości temperatur czynnika pobierającego energię z gruntu zauważa się, że występuje zróżnicowanie w poszczególnych obwodach. Widoczna na rys. 2 dynamika zmian różnic temperatur (Δt) świadczy o tym, że ilość ciepła pobierana z gruntu nie może być identyczna dla obydwu obwodów. Nasuwa się pytanie, co jest przyczyną? Sięgając do szczegółowej analizy przepływów medium w poszczególnych obwodach zauważa się, że tu także mimo prawie identycznych obwodów hydraulicznych występują różnice. Nieoczekiwane jest jednak to, że te niewielkie zmiany oporów powodują niekiedy aż ponad 10% różnice wydajności dolnego źródła ciepła. Powyższy fakt winien stanowić argument do prowadzenia szerszych badań z zakresu warunków przepływu medium grzewczego w obwodzie dolnego wymiennika pompy ciepła. W ogólnej ocenie wydajności dolnego wymiennika pompy ciepła występującego w konfiguracji podwójnego U należy przyznać, że to rozwiązanie w warunkach prowadzonych badań pozwoliło średnio uzyskać z 1mb wymiennika rurowego 11,56 W. Uzyskana wartość jest mniejsza o 3,5% od wydajności uzyskanej z wymiennika zamontowanego w konfiguracji pojedynczego U. Ta niewielka różnica nie ma tak dużego znaczenia w odniesieniu do faktu, który jest istotny na etapie inwestycji polegający na tym, że za ten sam koszt odwiertu mimo niewielkiej różnicy nakładów materiałowych (podwójna długość rury) pozwala na uzyskanie ponad dwukrotnie więcej energii z jednego metra głębokości. Powyższa ocena świadczy o tym, że wymiennik wykonany w konfiguracji podwójnego U w prowadzonych warunkach badań jest rozwiązaniem bardzo korzystnym. Należy przypuszczać, że na uzyskany wynik miał wpływ wysoki poziom wód gruntowych (o którym wcześniej wspomniano), a tym samym zwiększona powierzchnia wymiany ciepła, która cechuje wymiennik w konfiguracji podwójnego U mogła zostać w pełni wykorzystana w warunkach korzystnej wymiany ciepła.

Mając na względzie pierwszy omawiany wymiennik w konfiguracji pojedynczego U w wykonaniu turbo należy się zastanowić dlaczego jednostkowa wydajność tego wymiennika jest tylko w niewielkim procencie wyższa od drugiego wykonanego z rur gładkich? Przyczyny tego stanu rzeczy należy się dopatrywać w warunkach przepływu medium grzewczego przez ten wymiennik. Za takim wyjaśnieniem przemawia fakt, o którym wspomniano powyżej (omawiając nierównomierną wydajność obwodów wymiennika 2U), że w poszczególnych obwodach grzewczych występują różnice oporów hydraulicznych, a tym samym występują zróżnicowane prędkości przepływu. Zagadnienie powyższe będzie treścią badań prowadzonych w szerszym zakresie.

Wnioski

W prowadzonych warunkach badań wydajność jednostkowa wymiennika pionowego ułożonego do głębokości 100 m ułożonego w konfiguracji pojedynczego U (turbo) wynosiła $11,70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$, zaś wymiennika ułożonego w konfiguracji podwójnego U $11,56 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$.

W prowadzonych warunkach badań wydajność wymiennika pionowego ułożonego w konfiguracji podwójnego U w odniesieniu do jednostki głębokości jest dwukrotnie wyższa od wymiennika ułożonego w konfiguracji pojedynczego U.

Bibliografia

- Adamovský R., Mašek L., Neuberger P.** 2011. Analysis of rock mass borehole temperatures with vertical heat exchanger. Research in Agricultural Engineering. No. 4, 57 (2011) w druku.
- Čížek, P.** 2005. Zemní tepelné výměníky tepelných čerpadel se neobejdou bez podzemní vody [online]. 19. wrzesień 2005. Dostęp [2011-2-15]. Dostępne w Internecie: http://www.geolog.cz/odborne_clanky/Cizek%20TC%20a%20voda.htm >
- Hamdeh N., Khadair A., Reeder R.** 2001. A comparison of two methods used to evaluate thermal conductivity for some soils. J.Heat Mass Transfer 44. s. 1073-1078.
- Khalajzaden V., Heidarinejad G., Srebric J.** 2011. Parameters optimization of a vertical ground heat exchanger based on response surface methodology. Energy and Buildings 43. s. 1288-1294.
- Kozłowski R. H.** 2007. Konferencja na temat znaczenia energii z odnawialnych zasobów i źródeł. 22 października 2007. Centrum Konferencyjno-Wystawowe na Wawelu. Kraków. Materiały konferencyjne.
- Rees S. W., Adjali M. H., Zhou Z., Davies M., Thomas H. R.** 2000. Ground heat transfer effects on the thermal performance of earth-contact structures Renewable and Sustainable Energy Rev. 4. s. 213-265.
- Rubik M.** 2011. Pompy ciepła w systemach geotermii niskotemperaturowej. Multico.ISBN 978-83-7763-052-5.

ASSESSMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF HEAT PUMP GROUND EXCHANGER IN TWO DIFFERENT CONFIGURATIONS

Abstract. The purposes of the research are two vertical exchangers of heat pump located in boreholes of 100m depth. The exchangers subjected to the research were placed in two configurations, that is, single and double U. The purpose of the research was to assess energy efficiency of exchangers. For both exchangers the analysis of temperatures, heat efficiency were carried out during one cycle of work as well as with reference to a length unit of the exchanger. In conditions which were included in the research, the exchanger which was placed in the configuration of double U, possesses almost two more times bigger efficiency with reference to the borehole depth.

Key words: lower exchanger, heat pump, ground, unit efficiency, configurations

Adres do korespondencji:

Kazimierz Rutkowski; e-mail: kazimierz.rutkowski@ur.krakow.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków