

ANALIZA WYDAJNOŚCI PIONOWEGO WYMIENNIKA DOLNEGO ŹRÓDŁA POMPY CIEPŁA

Kazimierz Rutkowski

Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Akademia Rolnicza w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę energetyczną pionowych wymienników pompy ciepła umieszczonych w gruncie piaszczystym o wysokim poziomie wód gruntowych. Przeprowadzono analizę dwóch typów wymienników wykonanych z rur polietylenowych o średnicy 40 mm ułożonych w gruncie w kształcie pojedynczego i podwójnego U. Określono wydajność cieplną wymienników przy zróżnicowanym zapotrzebowaniu energii. Dla istniejących warunków badań okazało się, że wymienniki w kształcie pojedynczej U-rurki posiadają większą wydajność cieplną w porównaniu z wymiennikami w kształcie podwójnej U-rurki.

Słowa kluczowe: pompa ciepła, pionowy wymiennik, dolne źródło, energia, temperatura

Wstęp

Kryzys paliwowy lat 70-tych uzmysłowił światu, że zasoby naturalnych surowców energetycznych są ograniczone. Jednakże obecnie coraz częściej uważa się, że istnieje bardziej realne niebezpieczeństwo przekroczenia bariery ekologicznej niż możliwość wyczerpania się zasobów paliwowych, zwłaszcza jeśli zagadnienia ochrony środowiska w polityce energetycznej świata nie będą należycie traktowane. Kraje uczestniczące w Światowym Szczycie Ekologicznym „Ziemia 2000”, w Rio de Janeiro w 1992 roku zobowiązały się m.in. do 2050 roku zredukować o połowę emisję CO₂ w porównaniu ze stanem z roku 1987. Największa redukcja CO₂ ma objąć kraje uprzemysłowione w tym Polskę. Zmniejszenie emisji szkodliwych produktów spalania może być osiągnięte poprzez zmniejszenie udziału paliw kopalnych w bilansie energetycznym kraju. Związane to może być m.in. z substytucją paliw tradycyjnych nowymi "czystymi" nośnikami energii, a w tym z wykorzystaniem energii ze źródeł odnawialnych

Tak więc obowiązkiem każdego kraju jest powstrzymanie tych zmian poprzez podniesienie jakości gospodarki energetycznej tj. zwiększanie efektywności wytwarzania energii a przede wszystkim zastępowanie paliw kopalnych odnawialnymi źródłami energii. Ostatnio gwałtowny rozwój technologii sprawił że wiele z czystych źródeł energii stało się ogólnodostępnych na komercyjnym rynku; turbiny wiatrowe, elektrownie wodne, kolektory słoneczne czy ogniwa słoneczne które są dziś powszechnie używane na całym świecie [Arka 2007].

Energia w postaci promieniowania słonecznego będącego pierwotnym źródłem energii nagrzewa grunt, powietrze i wodę. Tak zakumulowana energia, mimo swojej małej prak-

tycznej przydatności (nie może służyć do napędów procesów cieplnych), może jednak zostać efektywnie wykorzystana np.: do ogrzewania pomieszczeń, jeżeli zastosujemy odpowiednie urządzenia do jej pozyskania. W podobny sposób można wykorzystać wtórne nośniki energii, jakimi są powietrze i woda ogrzane przez odpadową energię cieplną pochodzącą z różnych procesów technologicznych. Urządzeniami pozyskującymi energię ze źródeł niskotemperaturowych są tzw. pompy ciepła [Zawadzki 2003].

Pompy ciepła umożliwiając wykorzystanie niskoparametrowych źródeł ciepła stanowią czynnik usprawniający gospodarkę zarówno w ogrzewnictwie jak i w przemyśle. Zastosowanie ich w wielu przypadkach przyczynia się do ochrony środowiska oraz w zastosowaniach przemysłowych stwarza dogodniejsze warunki do przeprowadzania procesów technologicznych. Szczególnie szerokie zastosowanie znalazły pompy ciepła w ogrzewnictwie.

Wszystkie odnawialne źródła energii, są w mniejszym lub większym stopniu związane z warunkami klimatycznymi. W przypadku warunków polskich są to z reguły źródła niskotemperaturowe. Ponieważ warunki pogodowe charakteryzują się dużą stochastycznością, dlatego też z reguły parametry charakteryzujące te źródła zmieniają się w sposób przypadkowy. Dostępność odnawialnych źródeł energii jest z reguły dobra i większość z nich charakteryzuje się dużą pojemnością cieplną, co jest bardzo istotnym parametrem źródła ciepła dla pompy. Analizując jednak w sposób bardziej szczegółowy poszczególne źródła ciepła okazuje się, że niektóre z nich są bardziej wydajne cieplnie w warunkach polskich i bardziej dostosowane do konkretnego typu odbiorcy [Chwieduk 1996].

Ze względu na konieczność przy transformacji energii doprowadzenia do pompy ciepła energii wysoko przetworzonej należy rozpatrywać analizowany problem w oparciu o bilans energetyczny oraz rachunek kosztów uwzględniając również zagadnienia ekologiczne związane z ich udziałem [Jedliński, Szymański 1996]. Grunt oraz wody powierzchniowe zawierają nie ocenione ilości energii. Za pomocą pomp ciepła już przy głębokości od 1,5 m możemy czerpać ilość energii, która zaspokoi nasze codzienne potrzeby ogrzewania. Cała energia pobrana z gruntu zostaje zregenerowana przez energię promieni słonecznych, której jest więcej niż Ziemia jest w stanie pochłoniąć. Słońce dostarcza dokładnie 5000-krotnie więcej energii niż świat rocznie potrzebuje. W zależności od pory roku i głębokości temperatury gruntu mogą się wahać w przedziale od 4 do 8°C. Przy głębokościach poniżej 15 m ustają ruchy termiczne gruntu zależne od pory roku, a temperatura jest stała w granicach 8-10°C [Rutkowski 2006]. Na większych głębokościach grunt regeneruje się poprzez przepływające wody gruntowe, ciepło z wnętrza ziemi oraz ciepło dopływające z góry [Domański 1990].

Cel i zakres pracy

Celem pracy jest analiza wydajności cieplnej wymienników pionowych stanowiących dolne źródło pompy ciepła zasilającej układ grzewczy tunelu foliowego będącego obiektem doświadczalnym na Wydziale Agrotechnologii Akademii Rolniczej w Krakowie. Badania prowadzono na przełomie luty – marzec 2007 roku. Okres ten ze względu na zmieniające się warunki klimatyczne charakteryzował się zróżnicowanym zapotrzebowaniem ciepła.

Przedmiot i metodyka badań

Przedmiotem badań są pionowe wymienniki ciepła wykonane z rur polietylenowych o zróżnicowanej konfiguracji stanowiące dolne źródło pompy ciepła. Badaniami objęto trzy wymienniki umieszczone w odwiertach (studniach) na głębokościach; 17 (2 szt.) i 20 m. Polietylenowe rury wymiennika posiadały średnicę 40 mm, grubość ścianki 4 mm. Wymienniki A i B wykonane w kształcie pojedynczej U-rurki umieszczone były na głębokości 17 m, zaś wymiennik C posiadał głębokość 20 m i wykonany był w kształcie podwójnej U-rurki. Wymienione wymienniki stanowiły część dolnego źródła ciepła stanowiącego zasilanie układu grzewczego tunelu foliowego. Drugą część układu zasilającego pompę ciepła stanowiły poziome wymienniki gruntowe.

Podczas badań prowadzono ciągły monitoring warunków klimatycznych panujących na zewnątrz i wewnątrz tunelu foliowego. Równoległe monitorowano przepływ oraz temperaturę czynnika krążącego w układzie dolnego wymiennika ciepła. Każdy z wymienników posiadał własny układ pomiarowy. Ilość ciepła dostarczana przez poszczególne wymienniki obliczono z następującej zależności;

$$Q = \dot{m} \cdot c_t \cdot \Delta t \text{ [W]}$$

gdzie:

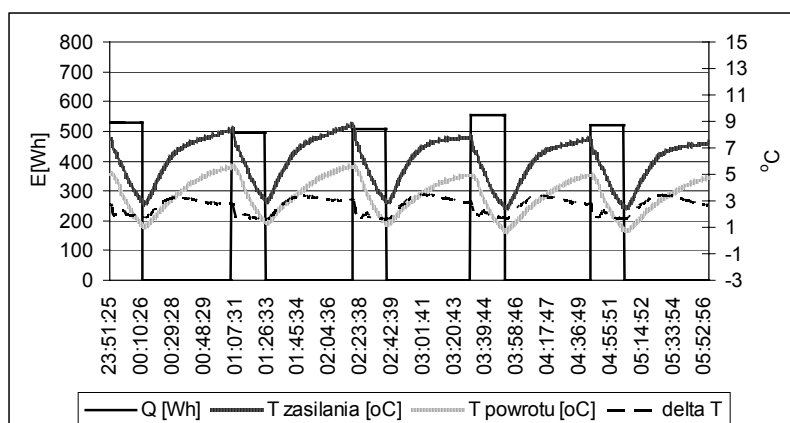
- \dot{m} – strumień masy cieczy przepływającej w wymienniku [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$],
- c_t – ciepło właściwe cieczy przepływającej przez wymiennik [$\text{J}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$],
- Δt – różnica temperatur cieczy przepływającej przez wymiennik [K].

Przy ocenie badanych wymienników ciepła posługiwano się metodyką przedstawioną w artykule [Rutkowski 2006].

Wyniki badań i ich analiza

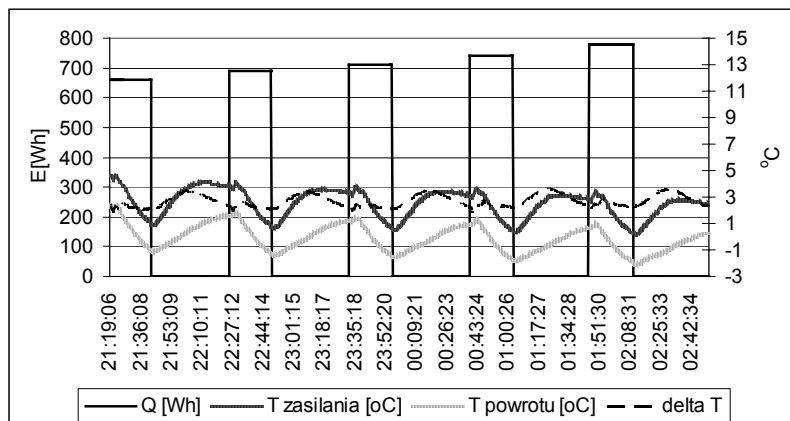
Będące przedmiotem badań pionowe wymienniki ciepła wykonano z rur polietylenowych o średnicy 40 mm i umieszczono w otworach wierconych w gruncie o średnicy 200 mm. Otwory do których włożono wymienniki do głębokości 16 m wiercone były w piasku, zaś poniżej znajdowało się podłoże ilaste a następnie kamieniste co utrudniało pracę wiertniczą. W konsekwencji tego proces wiercenia zakończono na głębokości 20 m (przy odwiercie C). Odwierty A i B miały głębokość 17 m. Poziom wód gruntowych w objętych badaniami terenie wynosił 8 m. Pionowe wymienniki ciepła stanowiły pierwszy układ zasilania pompy ciepła, drugi układ zasilający stanowiły wymienniki poziome. Energia pozyskiwana z dolnych wymienników ciepła gromadzona była w zbiorniku buforowym o pojemności $0,5 \text{ m}^3$ zasilającym układ grzewczy tunelu foliowego. Układ pomiaru temperatury zamontowany na zbiorniku buforowym sterował pracą pompy ciepła. Podczas badań na układzie sterowania pompą ustawiono zakres temperatur $45\text{-}50^\circ\text{C}$. Nastawa ta powodowała w badanym okresie ciągłą pracę pompy w przedziale 16-24 min. zwaną dalej cyklem pracy.

W początkowej fazie pracy pompy przy w miarę stabilnym zapotrzebowaniu obiektu na ciepło długość cyklu pracy była krótsza co widoczne jest na rysunkach 1 i 2. W tych warunkach stosunek pracy pompy do czasu postoju wynosił średnio 0,38. Ilość pozyskiwanej energii w poszczególnych cyklach studni A wynosiła średnio 521 W·h, zaś moc 1563 W. Ilość pozyskiwanej energii ze studni B w analogicznym okresie czasu była podobna. Różnica nie przekraczała 6%. Wraz ze zwiększeniem zapotrzebowania na ciepło wzrastał czas pracy pompy (długość cyklu) i przy poborze energii w zakresie 716 W·h w jednym cyklu, moc pozyskiwana ze studni A wynosiła 1868 W, zaś w studni B moc pozyskiwana wynosiła 1599 W. Analizując parametry czynnika grzewczego cyrkulującego w pionowym wymienniku pompy ciepła studni A i B (rys. 1 i 2) zauważa się, że przy mniejszych porcjach pobieranej energii, krótszych cyklach i niższym stosunku czasu pracy pompy do czasu przerwy (0,38) temperatura w przewodzie zasilającym wynosiła średnio 6,0°C ze studni A i 6,7°C ze studni B., zaś średnia temperatura powrotu odpowiednio 3,4°C i 4,4°C. Wraz ze wzrostem zapotrzebowania na ciepło (Rys. 3 i 4) wydłużał się cykl pracy pompy oraz skracał czas przerwy (gdzie stosunek wyżej wymienionych czasów wynosił 0,52 a ilość pobieranej energii w jednym cyklu wynosiła 716 W·h i 613 W·h) znacznie obniżyły się parametry czynnika grzewczego (temperatura zasilania wynosiła średnio 2,6°C, zaś powrotu 0,15 ze studni A i odpowiednio 2,8°C i 0,8°C dla studni B). Równocześnie zauważa się znaczne zróżnicowanie a zapotrzebowania mocy z poszczególnych studni wynoszące około 14%. Analizując wydajność cieplną obydwu studni zauważa się, że studnia A cechowała się większą wydajnością.



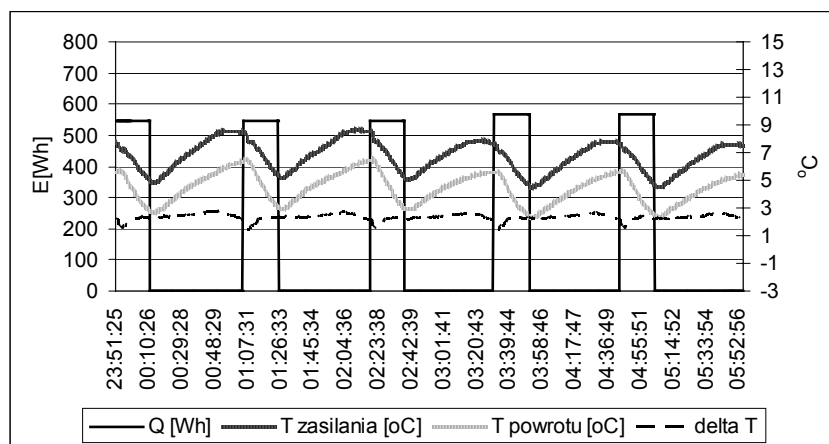
Rys. 1. Ilość energii oraz temperatury czynnika dolnego źródła przy wyrównanym zapotrzebowaniu ciepła. (studnia A, układ zasilania rur "U")

Fig. 1. Amount of energy and temperature of lower source medium at balanced heat demand. well A, "U" shaped pipe system pattern



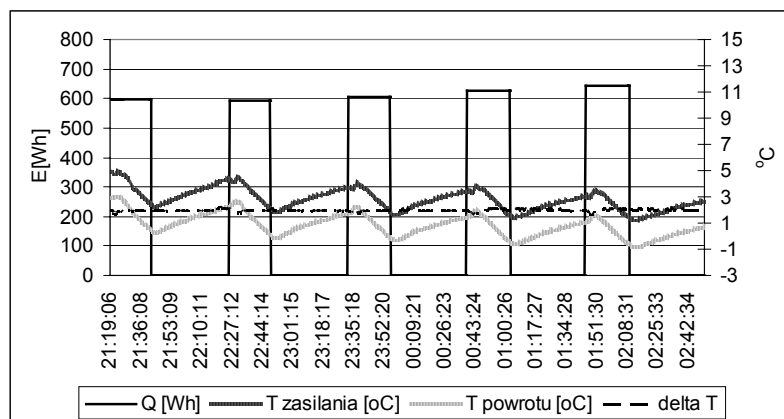
Rys. 2. Ilość energii oraz temperatury czynnika dolnego źródła przy narastającym zapotrzebowaniu ciepła. (studnia A, układ zasilania rur "U")

Fig. 2. Amount of energy and temperature of lower source medium at increasing heat demand. well A, "U" shaped pipe system pattern



Rys. 3. Ilość energii oraz temperatury czynnika dolnego źródła przy wyrównanym zapotrzebowaniu ciepła. (studnia B, układ zasilania rur "U")

Fig. 3. Amount of energy and temperature of lower source medium at balanced heat demand. well B, "U" shaped pipe system pattern



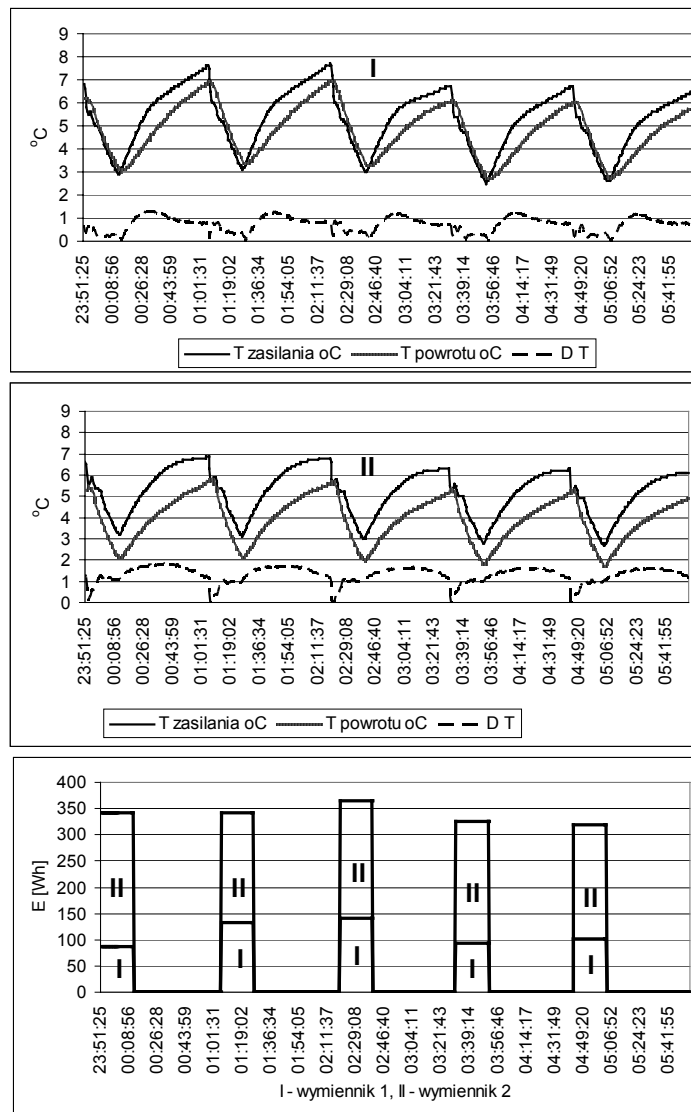
Rys. 4. Ilość energii oraz temperatury czynnika dolnego źródła przy narastającym zapotrzebowaniu ciepła. (studnia B, układ zasilania rur "U")

Fig. 4. Amount of energy and temperature of lower source medium at increasing heat demand. well B, "U" shaped pipe system pattern

Analizując studnie C gdzie umieszczono rury w systemie podwójnego U, (rys. 5 i 6) zauważa się, że ilość pozyskiwanej energii z poszczególnych obwodów dolnego wymiennika ciepła znacznie się różni. Średnia ilość ciepła pobierana ze studni C, obwodu pierwszego przy ustabilizowanym zapotrzebowaniu ciepła wynosiła 111 W·h, zaś z obwodu drugiego 227 W·h. Sumując ilość energii pobranej w jednym cyklu ze studni C (przy stabilnym zapotrzebowaniu ciepła przez obiekt) uzyskujemy wielkość 338 W·h co odpowiada mocy 1114 W. Pozyskiwana wielkość mocy jest średnio o 1/3 mniejsza w stosunku do studni gdzie zastosowano wymienniki typu pojedynczego U.

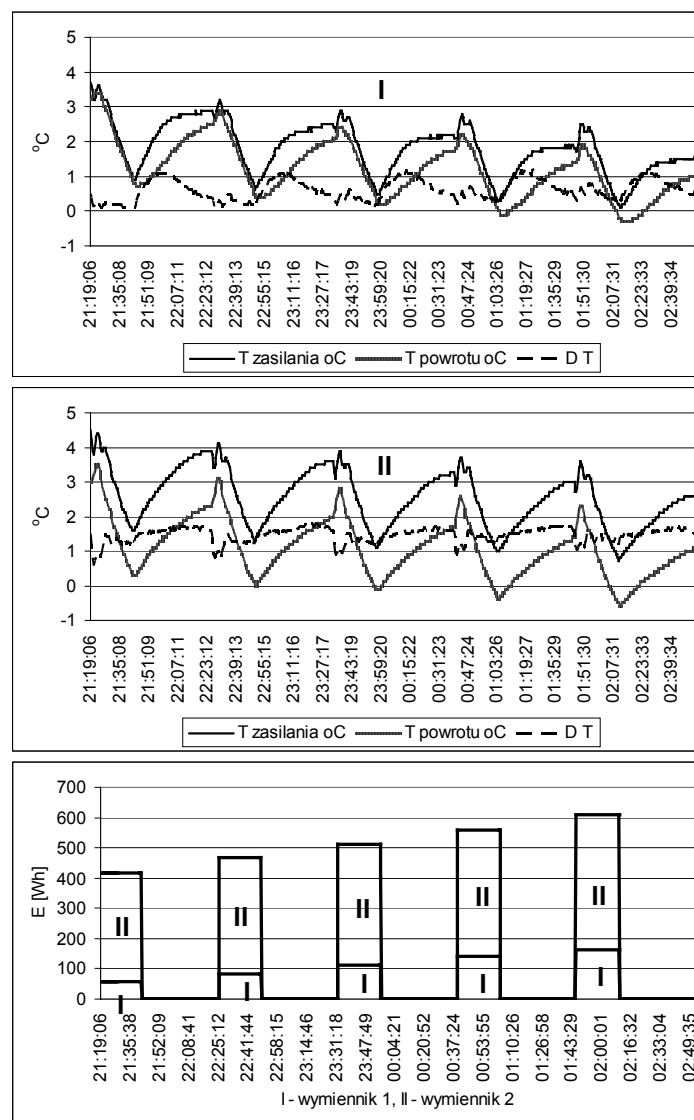
Przy zwiększonym zapotrzebowaniu ciepła przez obiekt (dłuższy czas cyklu pracy pompy, krótszy przerwy, gdzie stosunek wymienionych czasów wynosi 0,52) średni pobór ciepła w czasie jednego cyklu z obwodu 1 studni C wynosi 111 W·h, zaś z obwodu drugiego 403 Wh. Łączna średnia ilość energii pobierana w ciągu jednego cyklu ze studni C wynosi 514 W·h co stanowi 1340 W. Analizując powyższe wartości zauważa się, że z pionowego wymiennika dolnego źródła ciepła składającego się z podwójnej U-rurki uzyskujemy mniejszą moc o 17-29% w porównaniu z wymiennikiem wykonanym w kształcie pojedynczej U-rurki. Równocześnie analizując wartości temperatur zasilania i powrotu czynnika grzewczego w systemie podwójnej U-rurki zauważa się niższe wartości temperatur czynnika w układzie zasilania, zaś wyższe temperatury powrotne.

Analizując poszczególne obwody dolnego źródła pompy ciepła zauważa się, że obwód 1 cechował się małym spadkiem temperatury w obwodzie poboru ciepła z gruntu i wynosił średnio od 0,61 do 0,72°C. W drugim obwodzie występował większy spadek temperatur i wahał się w zakresie 1,30-1,46°C. Śledząc przepływ czynnika grzewczego w obu obwodach należy podać, że był on wyrównany i różnice w poszczególnych obwodach nie przekraczały 4%.



Rys 5. Ilość energii oraz temperatury czynnika dolnego źródła przy wyrównanym zapotrzebowaniu ciepła (studnia C, układ zasilania "2U")

Fig. 5. Amount of energy and temperature of lower source medium at balanced heat demand, well C, "2U" shaped pipe system pattern



Rys. 6. Ilość energii oraz temperatury czynnika dolnego źródła przy narastającym zapotrzebowaniu ciepła (studnia C, układ zasilania "2U")

Fig. 6. Amount of energy and temperature of lower source medium at increasing heat demand. well C, "2U" shaped pipe system pattern

Śledząc różnice temperatur między zasilaniem a powrotem czynnika krążącego w dolnym wymienniku ciepła w poszczególnych odwiertach (studniach), zauważa się istotne różnice. Odwierty w których zainstalowano pojedyncze U-rurki występują wyższe wartości Δt_{co} w konsekwencji pozwala na uzyskanie większej ilości energii z poszczególnych ujęć. Analizując długoterminową pracę pompy (500 cykli) można stwierdzić, że średnia różnica temperatur między zasilaniem a powrotem czynnika krążącego w układzie zasilania dolnego źródła ciepła w odwiertach z pojedynczą U-rurką jest ponad dwukrotnie niższa (54%) w porównaniu z wymiennikiem z podwójną U-rurką. Uzyskane wyniki badań jednoznacznie wykazują, że stosowanie podwójnej U-rurki w otworach średnicy 200 mm jest niezasadne, albowiem zwiększa koszty nie przynosząc efektów energetycznych. Jedynym uzasadnieniem zastosowania powyższego rozwiązania jest to, że drugi obwód wymiennika może stanowić rezerwę w chwili wystąpienia awarii w pierwszym obwodzie poboru ciepła.

Wnioski

1. Wraz ze wzrostem zapotrzebowania energii w pionowych wymiennikach ciepła zauważa się zwiększone różnice wydajności cieplnej poszczególnych odwiertów sięgające do 19%.
2. Pionowe wymienniki ciepła wykonane w kształcie podwójnej U-rurki w przyjętych warunkach badań cechują się ponad dwukrotnie niższą różnicą temperatur czynnika krążącego w układzie wymiennika w porównaniu z wymiennikiem wykonanym w kształcie pojedynczej U-rurki.
3. Wydajność pionowych wymienników ciepła w kształcie podwójnego U w przyjętych warunkach badań jest o 22-29% niższa w porównaniu z wymiennikiem wykonanym w kształcie pojedynczej U-rurki.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2005-2008 jako projekt badawczy

Bibliografia

- Chwieduk D.** 1996. Odnawialne źródła energii źródłem ciepła dla pompy ciepła. Ogólnopolskie Forum „Mała Energetyka” III Konferencja Naukowo-Techniczna. Chańcza 28-30 maj.
- Domański R.** 1990. Magazynowanie energii cieplnej. Warszawa. PWN.
- Jedliński R., Szymański M.** 1996. Wybrane zagadnienia z zastosowania pomp ciepła. Ogólnopolskie Forum „Mała Energetyka 96”. III Konferencja Naukowo-Techniczna., Chańcza 28-30 maja 1996.
- Rutkowski K., Kurpaska S., Latała H.** 2006. Metodyczne aspekty doboru dolnego źródła pompy ciepła do ogrzewania tunelu foliowego. Inżynieria Rolnicza Nr 11(86). s. 409-417.
- Zawadzki M.** 2003. Polska Ekologia Kolektory słoneczne, pompy ciepła na tak. Oficyna Wydawnictwa firmy Polska Ekologia sp. z o.o. s. 36-44.
- Arka. 2007. Pompy ciepła. Pozyskiwanie ciepła. [dostęp 10. 03. 2007]. Dostępny w Internecie: www.arka.wroclaw.pl

ANALYSIS OF HEAT PUMP LOWER TEMPERATURE VERTICAL HEAT EXCHANGER

Summary. The paper presented energy use analysis in heat pump vertical exchangers embedded in sand soil characterized by a high level of subterranean waters. The analysis was conducted for two types of heat exchangers made of polyethylene 40 mm diameter pipes were embedded in the soil, using a pattern of single and double letter "U". Heat efficiency of exchangers was determined at varying energy demand. It appeared that in case of this experiment the exchangers having a shape of a single "U" have higher heat efficiency than those holding the pattern of double "U".

Key words: heat pump, vertical exchanger, lower source, energy, temperature

Adres do korespondencji

Kazimierz Rutkowski; e-mail: rutkowski@tier.ar.krakow.pl
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Akademia Rolnicza w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków