

STUDIES ON THE INSTALLATIONS FOR RECOVERY OF HEAT FROM GEOTHERMAL BOREHOLES

Summary

Investigations of the installation for recovery of heat from geothermal boreholes with a heat pump were carried out, with aim to determine the functionality and energy efficiency of the system. Measurements were performed from 12.12.2011 to 14.02.2012 at laboratory of the renewable energy ("Ecobuilding") which is equipped with the heat pump, the buffer container, two geothermal boreholes and heat meters. Examinations concerned determining the quantity of acquired ground heat, its heat stability and energy expenditure related to the use of the system. On average 0.538 GJ of heat gained by the system per day was obtained, the daily consumption of electricity by the heat pump averaged 47.7 kWh, the momentary power of the system was stable and on average came to 6.313 kW, the coefficient of performance of the system (COP) was 3.051.

Key words: geothermal energy; heat; heat pump; livestock building; renewable energy sources; experimentation

BADANIA INSTALACJI DO ODZYSKU CIEPŁA Z ODWIERTÓW GEOTERMALNYCH

Streszczenie

Przeprowadzono badania instalacji do odzysku ciepła z odwiertów geotermalnych za pomocą pompy ciepła, celem określenia funkcjonalności oraz efektywności energetycznej tego systemu. Pomiarzy prowadzono od 12.12.2011 r. do 14.02.2012 r. w laboratorium energii odnawialnej („Ekobudynek”), które zaopatrzone jest w pompę ciepła, zbiornik buforowy, dwa odwierty geotermalne i ciepłomierze. Badania dotyczyły określenia ilości ciepła pozyskanego z gruntu, jego stabilności cieplnej oraz nakładów energetycznych związanych z eksploatacją systemu. Uzyskano średnio 0,538 GJ ciepła dziennie pozyskanego przez system, dzienne zużycie energii elektrycznej przez pompę ciepła wyniosło średnio 47,7 kWh, moc chwilowa systemu była stabilna i średnio wyniosła 6,313 kW, współczynnik efektywności układu (COP) wyniósł 3,051.

Słowa kluczowe: energia geotermalna; ciepło; pompa ciepła; budynek inwentarski; odnawialne źródła energii; badania

1. Wstęp

Wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii do pozyskiwania ciepła spotyka się z coraz większym zainteresowaniem. Ograniczone zasoby paliw kopalnych oraz rosnące w wyniku ich spalania zanieczyszczenie środowiska naturalnego stwarzają możliwości dla rozwoju rozwiązań stosujących alternatywne źródła energii. Dodatkowo zwrot w stronę odnawialnych źródeł energii według Kołota [7] wymuszają uwarunkowania ekonomiczne, związane z rosnącymi cenami surowców oraz polityką zmierzającą do uniezależnienia gospodarki od surowców energetycznych pochodzących z zewnątrz. Jednym z efektywnych sposobów wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych jest zastosowanie pompy ciepła. Rubik [12] zauważa, iż w ostatnich latach w Polsce wzrasta zainteresowanie pompami ciepła, które umożliwiają wykorzystanie niskotemperaturowego ciepła ze źródeł odnawialnych i ciepła odpadowego do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Szczepcowski [13] podaje, że w zależności od warunków klimatycznych oraz poziomu rozwoju gospodarczego, budynki zużywają od 30% do 50% całkowitego zużycia energii w danym kraju. Rubik [12] szersze stosowanie pomp ciepła wiąże nie tylko ze wzrostem cen surowców energetycznych oraz ograniczeniami związanymi z zanieczyszczeniem środowiska, ale także z udoskonaleniem systemów pomp ciepła oraz zobowiązaniami Polski, zgodnie z postanowieniami UE, co do zwiększania w krajowym

bilansie energetycznym udziału energii pozyskiwanej ze źródeł odnawialnych.

Pompy ciepła w ogrzewnictwie powszechnie stosowane są w Szwecji, która jest liderem w tej branży, a także w Austrii, Szwajcarii, Niemczech i Danii [2]. Jak podają Rubik [12] oraz Czekalski [1] w Polsce pierwsi krajowi producenci pomp ciepła pojawili się po roku 1990, autorzy zauważają również, iż wraz z wyższym poziomem technicznym urządzeń oraz szerszą ofertą handlową pomp ciepła, systematycznie rośnie liczba obiektów ogrzewanych tymi urządzeniami. Instytut Energetyki Odnawialnej [4] podaje, że w Polsce szacuje się istnienie ok. 8000 instalacji z pompami ciepła, wykorzystujących ciepło niskiej entalpii z geotermii płytkowej, ponadto w Polsce zakłada się, że średniorocznie sprzedaż pomp ciepła wzrasta w tempie 15%-20%. Duże znaczenie pomp ciepła w budownictwie jednorodzinnym czy zagrodowym, jako urządzeń wspomagających ogrzewanie budynków oraz istotny wpływ ich zastosowania masowego na bilans energetyczny gminy lub miasteczka podkreślają Mazur-Belzyt i Opania [11]. Jeden z producentów twierdzi, że nowoczesne pompy ciepła są tak wydajne, iż mogą służyć jako jedyne źródło ogrzewania budynków przez cały rok i są jednym z najtańszych w eksploatacji źródeł ciepła [3]. Według Rubika [12] w tradycyjnym ogrzewaniu (węglem, gazem ziemnym, olejem opałowym) użytecznie wykorzystuje się 65-90% energii pierwotnej. Pompa ciepła, która pożytkuje energię elektryczną w zależności od współczynnika wydajności (3-5) osiąga sprawność

wykorzystania energii pierwotnej w zakresie 90-150 %.

Działanie pompy ciepła opisuje Czekalski [2] podając, iż pompa ciepła pozyskuje ciepło ze źródła o niskiej temperaturze, następnie prowadzi do jego transformacji do takiej temperatury, która jest wystarczająca do zasilania systemów centralnego ogrzewania (c.o.) i przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.). Transformacja i wymiana ciepła przebiega w obiegu termodynamicznym, z czynnikiem roboczym o specyficznych właściwościach. Do napędu pompy ciepła konieczna jest energia elektryczna, darmowe jest natomiast ciepło pozyskiwane z odnawialnego źródła niskotemperaturowego. Autor zauważa, że jako niskotemperaturowe źródło ciepła dla sprężarkowej pompy ciepła preferuje się wykorzystywanie energii zakumulowanej w gruncie, ze względu na powszechną dostępność, wielką pojemność cieplną oraz względnie stabilną temperaturę w ciągu roku. Jak podaje Kreis-Tomczak [8] eksploatacji energii zawartej w gruncie dokonuje się stosując otworowe wymienniki ciepła (sondy geotermalne), które można podzielić na pionowe lub poziome. Wybór danego układu zależy od warunków lokalnych. Czekalski [2] stwierdza, że niezależnie od pory roku na głębokości 20 metrów, temperatura wynosi stale ok. $+10^{\circ}\text{C}$. Wpływ na nakłady energetyczne związane z użytkowaniem i pracą pompy ciepła ma jej współczynnik efektywności. Jak podaje Czekalski [2] określa on stosunek energii przekazanej odbiornikowi do energii zużytej do napędu urządzenia i nazywany jest współczynnikiem wydajności COP. Wartość tego współczynnika powinna być jak najwyższa, gdyż urządzenie produkując ciepło, które wytwarzane jest względnie tanimi sposobami, do napędu potrzebuje drogiej energii elektrycznej.

Badania nad działaniem i efektywnością pomp ciepła przedstawia praca Kreis-Tomczak [8], w której z obliczeń energii dostarczonej do uzyskanej wynika, że współczynnik COP wynosi 3,9. W czasie badań do obiegu c.o. dostarczono 5,836 GJ energii cieplnej. Badania eksploatacyjne małej sprężarkowej pompy ciepła typu powietrze-woda przeznaczonej do przygotowania ciepłej wody użytkowej, prowadzone przez Knagę [5] pokazują, iż współczynnik efektywności energetycznej waha się w zakresie 1,45-3,45 (przy przeciętnej wartości 2,05) podczas nagrzewania wody w zasobniku. Latała, Kurpaska i Sporysz [10] w badaniach nad efektywnością sprężarkowej pompy określili, iż zakres zmian współczynnika wydajności grzejnej pompy ciepła mieścił się w granicach od 1,2 do 2,8, natomiast wzrost wydajności cieplnej wymienników gruntowych powodował wzrost COP. Ponadto wstępne badania Knagi, Trojanowskiej, Kempkiewicz [6] nad prototypową pompą ciepła typu woda-woda o mocy 35 kW również wskazują na to, że wraz ze wzrostem temperatury dolnego źródła współczynnik COP wzrasta. Kubski i Czekalski [9] na podstawie badań eksperymentalnych podają, iż poprawy efektywności energetycznej sprężarkowych pomp ciepła można dokonać podnosząc temperaturę dolnego źródła ciepła lub obniżając temperaturę źródła górnego. Autorzy zauważają, że przy wzroście poziomu temperatury dolnego źródła współczynnik wydajności grzejnej osiąga wartość wyższą o 13%, a przy spadku poziomu temperatury górnego źródła współczynnik wzrasta o 26%. Dodatkowo autorzy uznając, że korzystny efekt energetyczny stosowania sprężarkowych pomp ciepła przy wykorzystaniu ciepła gruntu wymaga współczynnika wydajności grzejnej w granicach 3,5-4,0, to efekt ten można osiągnąć jedynie utrzymując poziom temperatury podgrzewania odbiornika poniżej 50°C .

Oszczędność energii oraz kosztów związanych z jej użytkowaniem prowadzi do szukania nowych rozwiązań pozyskiwania ciepła. Rozwój badań zakresie poznawania efektywności energetycznej systemów pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych przy użyciu pompy ciepła, pozwala zapoznać się z możliwościami takich systemów oraz może wpływać na wzrost zainteresowania alternatywnymi sposobami pozyskiwania energii wśród odbiorców.

2. Cel i przedmiot badań

Przedmiotem badań była instalacja do odzysku ciepła z odwiertów geotermalnych przy pomocy pompy ciepła.

Podstawowym celem badań i prowadzonych pomiarów było określenie ilości pozyskiwanego ciepła z dwóch odwiertów geotermalnych w okresie zimowym i przetworzenie go na użytkowe ciepło c.o. budynków. Celem dodatkowym jest określenie efektywności ekonomicznej stosowania tego typu systemu ogrzewania, oraz sprawności działania instalacji i pompy ciepła. Pozyskiwanie ciepła z gruntu z jednoczesnym brakiem „zrzutu” ciepła z kolektorów słonecznych latem, celem odtworzenia potencjału energetycznego gruntu pozwoli zweryfikować jego ogólną stabilność cieplną ziemi i hipotezę, że brak dostarczania ciepła latem do gruntu nie wpływa negatywnie na ilość pozyskanego ciepła zimą. Zakresem badań objęto pomiary w okresie zimowym 2011 r. oraz letnim i zimowym w 2012 r. Na podstawie dotychczasowych badań i zdobytej wiedzy literaturowej, ale również w oparciu o braki w dostępnej literaturze sformułowano następujące problemy badawcze:

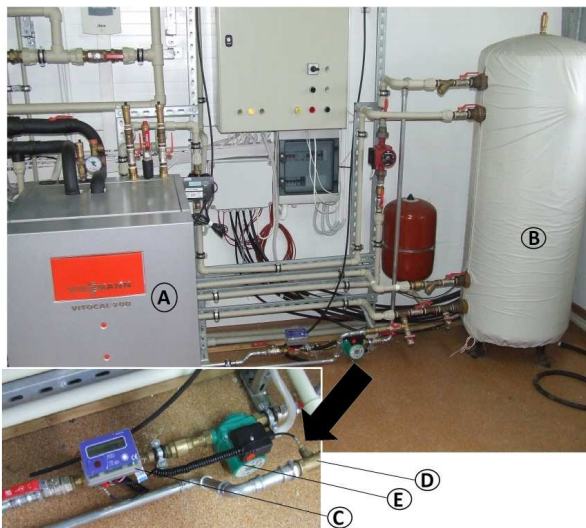
1. Jaka jest efektywność energetyczna i ekonomiczna układu do odzysku ciepła (COP)?
2. Czy pozyskiwanie ciepła z gruntu zimą z jednoczesnym brakiem dostarczania ciepła latem obniży potencjał cieplny gruntu w kolejnych okresach eksploatacji?

3. Stanowisko badawcze i metodyka badawcza

Stanowisko badawcze było usytuowane w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w Poznaniu w laboratorium energii odnawialnej „Ekobudynek” o wymiarach 12 x 6 m posiadający ściany wykonane z blach wypełnionymi 10 cm warstwą styropianu. W jego skład wchodziła pompa ciepła (rys.) Vitocall 200 Viessmann o mocy 8 kW, zbiornik buforowy o pojemności 200 dm³, dwa odwierty geotermalne o głębokości 70 m każdy.

Ciepłomierze zainstalowane zostały na wejściu i wyjściu z wymiennika ciepła (odwiert geotermalny) oraz w instalacji prowadzącej gorącą wodę do kaloryferów w ogrzewanym budynku. Ogrzewanym pomieszczeniem była piwnica o kubaturze ok. 125 m³, ale również „Ekobudynek” wyposażony w 6 grzejników. Badania prowadzono w okresie od 12 grudnia 2011 do 14 lutego 2012 roku. Wyniki szeregowano i analizowano w odniesieniu do trzech następujących okresów: 12.XII. 2011 r. – 31.XII.2011 r. (I okres), 1.I.2012 r. – 13.I.2012 r. (II okres) i 14.I.2012 r. – 14.II.2012 r. (III okres). Analizę wyników opracowano z wykorzystaniem odpowiednich formuł i przedstawiono jako wydruk z arkusza kalkulacyjnego Excell 2010.

Ustalenie wskaźnika efektywności energetycznej cieplnej COP (*Coefficient Of Performance*) wyrażającego efektywność energetyczną eksploatowanego systemu uzyskano jako iloraz pozyskanej energii do poniesionych nakładów energetycznych.



Rys. Stanowisko badawcze w „Ekobudynku” A – Pompa ciepła; B – Zasobnik ciepłej wody; C – ciepłomierz z komputerem; E – pompa; D – czujnik temperatury wody powracającej T₂. Źródło: Opracowanie własne

Fig. Research station in "Ecobuilding" A - heat pump; B- storage container of warm water; C- heat meter with the computer; E - pump; D - sensor of the returning water temperature T₂. Source: own study

4. Wyniki badań

W wyniku prowadzonych badań instalacji do odzysku ciepła z odwiertów geotermalnych i wykorzystania następnie go do ogrzewania wody centralnego ogrzewania uzyskano rezultaty zamieszczone w tab.

Przyczyna takiego zbierania i szeregowania danych wynikała z warunków pogodowych – głównie temperatury zewnętrznej powietrza.

Najistotniejszym parametrem było określenie dziennej ilości ciepła pozyskanego z gruntu i skumulowanego przy pomocy pompy ciepła, która wahała się w granicach od 0,527 do 0,545 GJ dziennie (średnio 0,538 GJ dziennie).

Kolejnym parametrem umożliwiającym określenie efektywności funkcjonowania instalacji było ustalenie nakładów energetycznych związanych z pracą pompy ciepła oraz pompy obiegowej zasilającej instalację centralnego ogrzewania. Zużycie energii elektrycznej przez pompę ciepła wynosiło od 44,57 kWh do 57,8 kWh dziennie, co dało średnią wartość 47,7 kWh każdego dnia (0,172 GJ). Zużycie energii elektrycznej przez pompę obiegową o mocy 62,0 W wynosiło 1,488 kWh, co po przeliczeniu wynosi 0,00536 GJ dziennie.

Wartość wskaźnika COP wynosiła od 2,539 do 3,222 (ze średnią 3,051). Ilość ciepła dostarczanego każdego dnia do dogrzewanej piwnicy budynku wynosiła od 0,055 GJ do 0,856 GJ (średnio 0,266 GJ). To pozwalało na utrzymanie w niej temperatury powietrza w I okresie między 14,5°C a 16,0°C, ze średnią 15,27°C (temperatura powierzchni grzejników (T_{pg}) wynosiła średnio 28,01°C), w II okresie od 14,0°C do 16,0°C ze średnią 15,0°C (średnia T_{pg} wynosiła 26,28°C), w III okresie od 9,5°C do 16,0°C ze średnią 12,9°C (średnia T_{pg} wynosiła 23,28°C). Natomiast w dogrzewanym „Ekobudynku” temperatura wynosiła w I okresie od 13,5°C do 18,0°C ze średnią 15,42°C, w II okresie od 14,0°C do 16,0°C ze średnią 15,0°C i w III okresie od 4,0°C do 14,5°C ze średnią 10,02°C. Średnie temperatury powietrza wynosiły odpowiednio w I okresie +1,81°C, w II okresie +4,41°C i w III okresie -6,56°C.

Istotnymi parametrami pracy instalacji wraz z pompą ciepła była temperatura glikolu na wyjściu z pionowego wymiennika ciepła (odwiertu geotermalnego) T₁ oraz temperatura glikolu na końcu instalacji kierowanego do wymiennika ciepła T₂. Prędkość przepływu cieczy roboczej (glikol techniczny) w pionowych wymiennikach była prawie niezmienna (odchylenie standardowe δ = 0,004) i wynosiła 0,884-0,9m³·h⁻¹ (średnia 0,892 m³·h⁻¹).

Tab. Fragment arkusza kalkulacyjnego Excel 2010 z wynikami badań instalacji do odzysku ciepła
Table. Fragment of spreadsheet Excel 2010 with results of the examined installation for recovery of heat

	Ilość przepompowanego glikolu (m ³)	Chwilowa moc układu (kW)	Przepływ wody (m ³ ·h ⁻¹)	Temp. T ₁ (°C)	Temp. T ₂ (°C)	Δ T (K)	Wskazania czasu pracy instalacji (h)	Wskazania licznika energii elektr. (kWh)	Licznik energii cieplnej (GJ)	Dzienna ilość ciepłej (GJ)	Dzienna ilość energii elektr. (kWh)	COP
25.I.2012	8299,42	6,20	0,9	37,6	31,4	6,2	50736	21623,3	209,857			
26.I.2012	8320,93	6,39	0,897	35,4	28,8	6,2	50760	21681,1	210,399	0,542	57,800	2,539
27.I.2012	8342,60	6,28	0,888	32,8	26,7	6,1	50784	21735	210,942	0,543	53,900	2,723
28.I.2012	8364,28	6,30	0,889	34,5	28,4	6,1	50808	21783,866	211,482	0,540	48,866	2,979
29.I.2012	8385,95	6,31	0,89	29,9	23,7	6,2	50832	21832,732	212,022	0,540	48,866	2,979
30.I.2012	8406,96	6,34	0,888	28,4	22,2	6,2	50856	21881,6	212,564	0,542	48,868	2,990
31.I.2012	8428,32	6,46	0,891	29,3	23	6,3	50880	21928	213,105	0,541	46,400	3,138
1.II.2012	8449,79	6,24	0,884	27,9	21,7	6,2	50904	21974,3	213,649	0,544	46,300	3,162
2.II.2012	8471,22	6,31	0,889	27,9	21,7	6,2	50928	22019,8	214,194	0,545	45,500	3,222
3.II.2012	8492,68	6,38	0,890	29,3	23,1	6,2	50952	22065,1	214,727	0,533	45,300	3,164
4.II.2012	8514,40	6,28	0,891	31,4	25,3	6,1	50976	22110,6	215,263	0,536	45,500	3,169
5.II.2012	8536,00	6,31	0,888	30,5	24,2	6,3	51000	22155,9	215,805	0,542	45,300	3,218
6.II.2012	8557,70	6,25	0,890	29,4	23,3	6,1	51024	22201,6	216,343	0,538	45,700	3,167
7.II.2012	8579,38	6,30	0,888	28,9	22,8	6,1	51048	22247,1	216,883	0,540	45,500	3,192
8.II.2012	8599,73	6,39	0,891	29,8	23,6	6,2	51072	22292,6	217,41	0,527	45,500	3,115
9.II.2012	8621,48	6,27	0,896	32,5	26,5	6	51096	22341	217,945	0,535	48,400	2,979
10.II.2012	8642,63	6,34	0,892	28,4	22,3	6,1	51120	22387,6	218,481	0,536	46,600	3,096
11.II.2012	8664,30	6,35	0,896	30,9	24,8	6,1	51144	22433,93	219,014	0,533	46,300	3,096
12.II.2012	8685,98	6,30	0,894	31,1	24,9	6,2	51168	22481,43	219,552	0,538	47,500	3,051
13.II.2012	8707,05	6,35	0,897	32,6	26,5	6,1	51192	22526,0	220,080	0,528	44,570	3,184
14.II.2012	8728,56	6,23	0,896	34,0	27,9	6,1	51216	22577,3	220,621	0,541	51,300	2,847
średnia arytm.	8514,255	6,313	0,892	31,071	24,895	6,157	50976,0	22108,565	215,254	0,538	47,700	3,051
min.	8299,424	6,197	0,884	27,900	21,700	6,000	50736,0	21623,300	209,857	0,527	44,570	2,539
max.	8728,555	6,464	0,900	37,600	31,400	6,300	51216,0	22577,300	220,621	0,545	57,800	3,222
odch. stand.	123,661	0,056	0,004	2,190	2,177	0,074	138,391	268,201	3,101	0,005	3,236	0,172

Źródło: Opracowanie własne / Source: own study

Jak wynika z tab. różnica temperatur ΔT świadcząca o ilości pozyskanego przez glikol ciepła w gruncie wynosiła 6,0-6,3 K (średnia 6,15 K). Niska wartość odchylenia standardowego tego parametru ($\delta = 0,074$) świadczy o bardzo stabilnym procesie i niewielkich wahaniami ilości pozyskiwanego ciepła każdego dnia. A to z kolei świadczy o stabilności pojemności cieplnej gruntu posiadającego stałą „podaż” ciepła. Kolejnym parametrem mówiącym o wysokiej sprawności i niezawodności układu jest wartość mocy chwilowej systemu pozyskiwania ciepła, która wynosiła od 6,197 kW do 6,464 kW (średnia 6,313 kW). Potwierdza to również niska wartość odchylenia standardowego tego parametru $\delta = 0,056$.

5. Podsumowanie i wnioski

Uzyskane wyniki przeprowadzonych badań systemu pozyskiwania ciepła z gruntu i wykorzystania go do celów grzewczych budynków (w tym także samego laboratorium energii odnawialnej „Ekobudynek”, w której znajduje się stanowisko badawcze, pompa ciepła i aparatura kontrolno-pomiarowa) wskazują jednoznacznie na poprawność i niezawodność działania instalacji zarówno pod względem technicznym jak i technologicznym. Technologia wykorzystania ciepła ziemi z wykorzystaniem pionowych wymienników ciepła (odwiertów geotermalnych) okazuje się bardzo niezawodnym i stabilnym źródłem energii. Szczególnie potwierdza to okres zimowy prowadzonych badań.

Uzyskane rezultaty pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. System odzysku ciepła pozwalał na pozyskanie średnio 0,538 GJ ciepła dziennie, z czego do ogrzewania piwnicy budynku zostało przekazywane średnio 0,266 GJ.
2. Dzielne zużycie energii elektrycznej przez pompę ciepła wynosiło średnio 47,7 kWh (0,172 GJ). Dzielne zużycie energii elektrycznej przez pompę obiegową wynosiło 1,488 kWh (0,00536 GJ).
3. Efektywność energetyczna układu (COP) wyniosła 3,051.
4. Uzyskano stabilną moc chwilową systemu wynoszącą średnio 6,313 kW, odchylenie standardowe $\delta = 0,056$.

5. W celu zwiększenia efektywności eksploatowanej pompy ciepła jest potrzeba włączenia do układu istniejących na „Ekobudynku” cieczeniowych kolektorów słonecznych, dotychczas nie eksploatowanych i nie uwzględnianych w badaniach.

6. Bibliografia

- [1] Czekalski D.: Wykorzystanie sprężarkowych pompy ciepła w technice grzewczej. *Agromechanika*, 2007, Nr 10, s. 52-55.
- [2] Czekalski D.: Nowoczesne pompy ciepła jako konkurencja dla tradycyjnych technik grzewczych. W: *Ekoinnowacje na Mazowszu. Poradnik Transferu Technologii w Dziedzinie Ochrony Środowiska. Priorytet Ochrona Powietrza. Podręcznik internetowy*. Warszawa. Centrum Transferu Technologii i Rozwoju Przedsiębiorczości Politechniki Warszawskiej, 2011, ss. 24. ISBN 978-83-7207-999-2.
- [3] Gnyra K.: Pompy ciepła jako źródło taniej energii. *Czysta Energia*, 2008, Nr 3(77), s. 27-28.
- [4] Instytut Energetyki Odnawialnej. Ocena stanu i perspektywy produkcji krajowej urządzeń dla energetyki odnawialnej. *Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej*, 2007, ss. 177.
- [5] Knaga J.: Efektywność sprężarkowej pompy ciepła powietrze-woda po modernizacji układu kierowniczego dolnego źródła ciepła. *Inżynieria Rolnicza*, 2009, Nr 6(115), s. 141-147.
- [6] Knaga J., Trojanowska M., Kempkiewicz K.: Efektywność pompy ciepła ze spiralną sprężarką. *Inżynieria Rolnicza*, 2005, Nr 6 (66), s. 315-320.
- [7] Kołota R.: Przesłanki rozwoju energetyki źródeł odnawialnych na tle absorpcyjnych pomp ciepła. *Nowa Energia*, 2009, Nr 3(9), s. 48-53.
- [8] Kreis-Tomaczak K.: System pozyskiwania energii cieplnej z sond geotermalnych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2008, Nr 2(60), s. 167-173.
- [9] Kubski P., Czekalski D.: Badania doskonałości energetycznej obiegu termodynamicznego sprężarkowych pomp ciepła. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 2003, Nr 12(34), s. 4-7.
- [10] Latała H., Kurpaska S., Sporysz M.: Wybrane aspekty współpracy pompy ciepła z gruntowymi wymiennikami ciepła. *Inżynieria Rolnicza*, 2011, Nr 6(131), s. 117-124.
- [11] Mazur-Belzyt K., Opania Sz.: Wykorzystanie OZE na terenach zurbanizowanych. *Nowa Energia*, 2009, Nr 4(10), s. 32-35.
- [12] Rubik M.: Sprężarkowe pompy ciepła w Polsce. Stan i perspektywy rozwoju w świetle dotychczasowych doświadczeń. *Chłódnictwo i klimatyzacja*, 2007, Nr 12, s. 68-78.
- [13] Szczechowiak E.: Budynki energooszczędne i pasywne. *Czysta Energia*, 2008, Nr 3(77), s. 22-26.