

Wpłynęło 05.03.2012 r.
Zrecenzowano 04.05.2012 r.
Zaakceptowano 25.05.2012 r.

Badania nad wykorzystaniem ciepła z odwiertów geotermalnych

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Robert SZULC^{ABD}, Barbara ŁASKA^{FDE}

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział w Poznaniu

Streszczenie

Przeprowadzono badania instalacji, pozyskującej ciepło z niskotemperaturowego odnawialnego źródła energii w celu ogrzewania dwóch budynków. Celem było zweryfikowanie poprawności działania instalacji oraz określenie ilości ciepła pozyskanego z odwiertów geotermalnych i wykorzystanego do ogrzewania pomieszczeń za pomocą pompy ciepła. Określono efektywność funkcjonowania przyjętego rozwiązania. Pomiary prowadzono od 12.12.2011 r. do 14.02.2012 r. w laboratorium energii odnawialnej („Ekobudynek”), wyposażonym m.in. w pompę ciepła, zbiornik buforowy, dwa odwierty geotermalne oraz system kontrolno-pomiarowy. Uzyskano 16,66 GJ ciepła dostarczonego do ogrzewanych pomieszczeń. Średnia chwilowa moc systemu wyniosła 2,86 kW, prędkość przepływu czynnika grzewczego początkowo wynosiła $0,45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, a następnie $0,35 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Różnica temperatury czynnika grzewczego na wyjściu i wejściu do pompy ciepła wyniosła średnio 6,84 K. Temperatura czynnika grzewczego (wody zasilającej grzejniki) T_1 wyniosła średnio $37,8^\circ\text{C}$, a temperatura wody powracającej z układu grzewczego T_2 – $30,97^\circ\text{C}$.

Słowa kluczowe: energia odnawialna, budynek inwentarski, ciepło, pompa ciepła

Wstęp

Produkcja rolna wiąże się z dużymi nakładami energetycznymi, dodatkowo stale rosną wymagania co do jakości uzyskiwanych artykułów rolnych. W tej sytuacji jedynie zwiększanie efektywności systemów stosowanych w produkcji rolnej może wpłynąć na rentowność tego sektora gospodarki. SZEPTYCKI i WÓJCICKI [2003] zauważają, że do zwiększenia zużycia energii elektrycznej bezpośrednio w produkcji rolniczej przyczynia się restrukturyzacja rolnictwa oraz technologiczna modernizacja rozwojowych gospodarstw rolniczych. Rosnące wymagania, związane z produkcją zwierzęcą, łączą się z potrzebą zapewnienia odpo-



wiedniego dobrostanu zwierząt, przez zwiększanie kubatury pomieszczeń inwentarskich oraz stosowanie systemów wymuszonej wentylacji, co zazwyczaj skutkuje zwiększeniem zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepło [WAZE 2011]. MYCZKO i in. [2003] podkreślają, że zużycie energii w budynkach inwentarskich jest duże ze względu na dużą koncentrację procesów produkcyjnych. Dodatkowo KREIS-TOMACZAK [2008] podaje, że w budownictwie inwentarskim coraz powszechniej stosuje się rozwiązania, wpływające na poprawę bilansu energetycznego budynków, a zmniejszenie nakładów na produkcję rolną może wpływać na podniesienie jej opłacalności.

MYCZKO i in. [2003] uważają, że jednym z licznych sposobów poprawy bilansu energetycznego budynku jest wykorzystanie energii pochodzącej z wielu źródeł, zwłaszcza odnawialnych. Według PAWLAKA [2007] udział energii z zasobów odnawialnych w zużyciu energii w polskim rolnictwie wynosi ok. 8%. Zdaniem NAWROCKIEGO [2003], w warunkach produkcji na dużą skalę, celowe jest rozwiązanie inwestycji w źródła odnawialne, które mogłyby pracować z instalacją pompy ciepła w systemie zintegrowanym. LEWANDOWSKI [2006] podkreśla, że sprężarkowa pompa ciepła jest jednym z urządzeń energetyki alternatywnej, które umożliwia przenoszenie ciepła z dolnego, niskotemperaturowego źródła ciepła do górnego źródła ciepła o wyższej temperaturze, z wykorzystaniem wymuszonego obiegu termodynamicznego, po dostarczeniu energii do napędu sprężarki. Wydajnym źródłem ciepła może być skorupa ziemiska. Zgodnie z aktualnymi danymi ponad 90% całkowitej ilości ciepła Ziemi jest zmagazynowane w skałach, a ok. 10% – w płynach i parach [WAZE 2011].

Wykorzystanie ciepła z gruntu wymaga zastosowania pomp ciepła jako urządzeń wspomagających. Jest to tzw. geotermia niskiej entalpii. Ciepło ośrodka skalnego (gruntu) stanowi dla pompy ciepła tzw. „dolne źródło ciepła” [KAPUŚCIŃSKI, RODZICH 2006].

KREIS-TOMCZAK [2008] zauważa, że jednym ze sposobów eksploatacji energii zawartej w gruncie jest zastosowanie otworowego wymiennika ciepła (zwanego także pionowym odwiertem geotermalnym lub sondą geotermalną). Według ADAMOVSKIEGO i KARY [2001], stosowanie takiego systemu umożliwia zmniejszenie zużycia energii i może uniezależnić fermę od paliw stałych. GROCHAL [2008] stwierdził intensywne upowszechnianie wykorzystania pomp ciepła w Szwajcarii, Austrii oraz Niemczech, gdzie wprowadzono m.in. niższe ceny energii elektrycznej do napędu pomp ciepła.

Energia geotermalna jest zasobem odnawialnym, jednak jej eksploatacja podlega ograniczeniom, które wynikają z zasad racjonalnej gospodarki zasobami [WAZE 2011]. W związku z tym GROCHAL [2008] zauważa, że w Holandii zminimalizowanie oddziaływania na środowisko eksploatacji dolnego źródła, odbywa się przez kierowanie do gruntu, w okresie letnim, ciepła pochodzącego z chłodzenia pomieszczeń i kolektorów słonecznych z dachu budynków. Zwiększa się tym efektywność instalacji grzewczej, ponieważ grunt staje się magazynem energii.

Magazynowanie ciepła w gruncie, w literaturze fachowej jest określane jako Underground Thermal Energy Storage (UTES) [KAPUŚCIŃSKI, RODZUCH 2006]. EBNÖTHER i in. [2007] zaznaczają, że w Europie pracuje już kilka zasobników energii geotermicznej, są to obiekty w Neckarsulm-Amorbach, Mol (Belgia), Anenberg (Szwecja), a także w Attenkirchen (na północny wschód od München). Występuje tu magazynowanie pośrednie energii słonecznej w gruncie oraz przekazywanie jej za pomocą sieci zasilania bliskiego. Autorzy podają, że w zasobnikach energii może być osiągnięta temperatura wyższa niż 90°C. Podobne systemy magazynowania ciepła w gruncie opisują PAHUD [2002], PAKSOY [1998] oraz RYBACH i SANNER [2000].

Potencjalne możliwości zainstalowania w budynkach inwentarskich systemów kumulowania energii za pomocą pompy ciepła oceniono w pracy MYCZKI i in. [2006]. Połączenie dwóch źródeł energii znacząco wpływa na zmniejszenie ogólnych nakładów energetycznych, a koszty początkowe złożonego systemu nie są większe, niż systemu z jednym medium (źródło energii) [BAROTTI 1986]. Zdaniem SZEPTYCKIEGO i WÓJCICKIEGO [2003] zwiększenie wykorzystania odnawialnych zasobów energii w rolnictwie jest doceniane i akceptowane, jednak postęp w tym obszarze jest niedostateczny i oczekuje się przełomu w gospodarce energetycznej wsi i rolnictwa, zwłaszcza ze względu na zobowiązania Polski, podjęte w ramach wspólnej polityki energetycznej UE.

Cel, przedmiot badań i problem badawczy

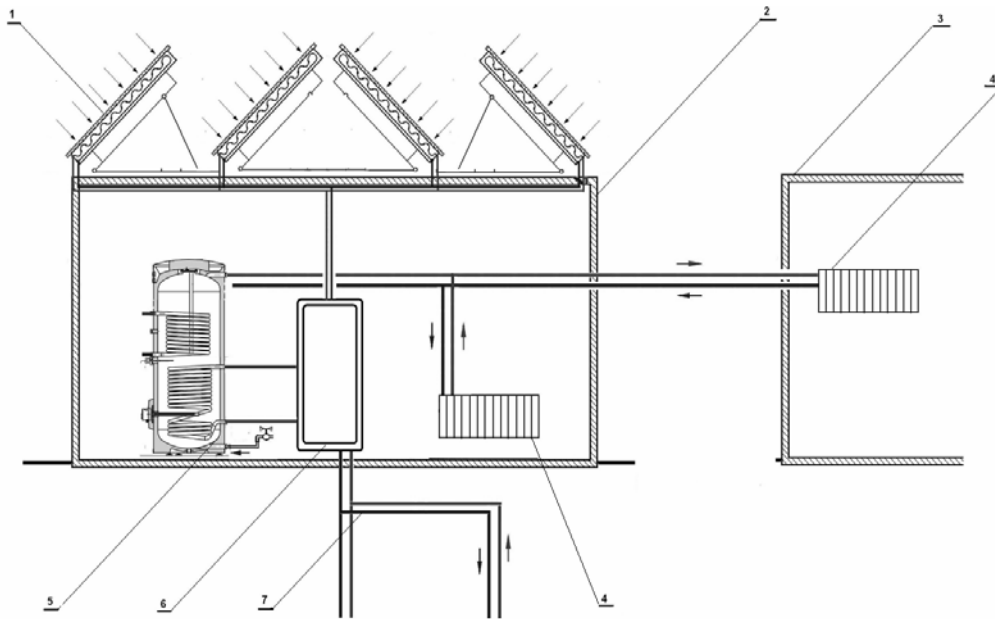
Szczegółowa analiza literatury krajowej i zagranicznej wykazała braki wiedzy naukowej, dotyczące nakładów i efektywności zagospodarowania energii odnawialnej w rolnictwie, co wpłynęło na określenie celu pracy. Było nim zaprojektowanie, wykonanie i zweryfikowanie w warunkach rzeczywistych, rozwiązań technicznych, umożliwiających pozyskiwanie ciepła z niskotemperaturowych, odnawialnych źródeł energii i wykorzystanie tego ciepła do zasilania centralnego ogrzewania.

Przedmiotem badań była instalacja, mieszcząca się w laboratorium energii odnawialnej („Ekobudynek”), czyli budynku wyposażonym w cieczowy kolektor słoneczny, odwiert geotermalne, pompę ciepła, zbiornik buforowy na ciepłą wodę, urządzenia kontrolno-pomiarowe oraz dodatkowe urządzenia sterujące (rys. 1 i 2).

Celem dodatkowym było zweryfikowanie poprawności oraz określenie efektywności funkcjonowania systemu, ograniczającego nakłady energetyczne w podstawowych procesach produkcji rolniczej oraz obsłudze budynków nieinwentarskich.

Na podstawie dotychczasowych badań oraz przeglądu literatury sformułowano następujące problemy badawcze:

- 1) Ile ciepła można pozyskać z odwiertów geotermalnych (pionowych wymienników ciepła) stosowanych do ogrzewania budynków mieszkalnych?
- 2) Jakie rozwiązania techniczne i funkcjonalne umożliwią zmniejszenie nakładów na wykorzystanie ciepła pochodzącego z odnawialnych źródeł energii?



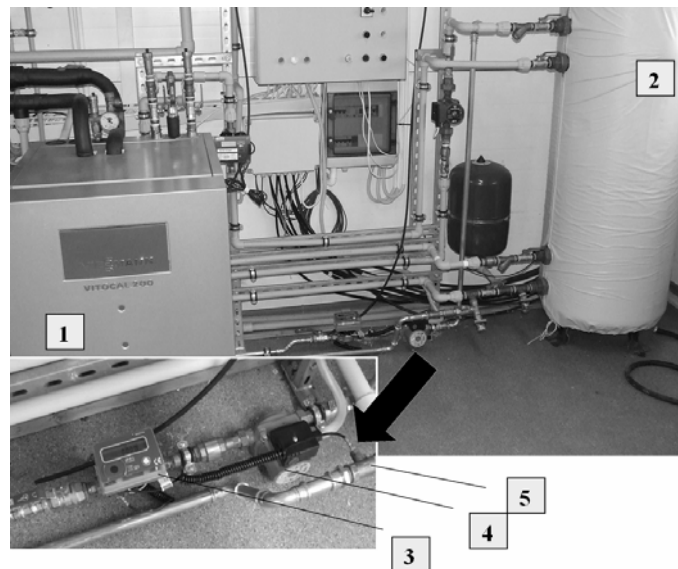
Źródło: opracowanie własne. Source: own study.

Rys. 1. Schemat instalacji do pozyskiwania i wykorzystania energii odnawialnej; 1 – dach z ciekowymi kolektorami słonecznymi; 2 – „Ekobudynek”; 3 – dogrzewany budynek biurowy; 4 – odbiorniki ciepła, grzejniki; 5 – dwusystemowy zbiornik buforowy na ciepłą wodę; 6 – pompa ciepła 7 – odwierty geotermalne
 Fig. 1. Schematic diagram of the installation for gaining and the use of renewable energy; 1 – roof with liquid solar collectors, 2 – “Ecobuilding”, 3 – office building heated up, 4 – heat receivers, heaters, 5 – dual-system buffer tank for hot water, 6 – heat pump, 7 – geothermal boreholes

Stanowisko badawcze i metody badań

Badania prowadzono od grudnia 2011 r. do lutego 2012 r. Badana instalacja była umieszczona w budynku o konstrukcji samonośnej, bez przegród wewnętrznych („Ekobudynek”), o wymiarach zewnętrznych 12 x 6 m i ścianach z blach wypełnionych 10-centymetrową warstwą styropianu. Dach stanowił w całości ciekowy kolektor słoneczny o powierzchni ok. 83 m². W pierwszym etapie badań kolektor słoneczny nie był podłączony do badanej instalacji.

W skład stanowiska badawczego wchodziła pompa ciepła typu Vitocall 200 o mocy 8 kW, zbiornik buforowy na ciepłą wodę o pojemności 200 dm³, dwa odwierty geotermalne o głębokości 70 m każdy oraz ciepłomierze (rys. 2). Ciepłomierze zainstalowano na instalacji zasilającej system grzewczy dwóch budynków. Ogrzewanym pomieszczeniem była piwnica o kubaturze ok. 125 m³ w budynku biurowym oraz „Ekobudynek” o kubaturze 259 m³ wyposażony w 6 grzejników.



Źródło: opracowanie własne. Source: own study.

Rys. 2. Stanowisko badawcze w „Ekobudynku”; 1 – pompa ciepła; 2 – zbiornik buforowy na ciepłą wodę; 3 – ciepłomierz nr 1 (budynek biurowy); 4 – pompa; 5 – czujnik temperatury wody powracającej T_2

Fig. 2. Research stand in “Ecobuilding”: 1 – heat pump, 2 – buffer tank for hot water, 3 – heat meter no.1 (office building), 4 – pump, 5 – sensor of returning water temperature T_2

Układ pomiarowy umożliwił określenie ilości ciepła zarówno w obwodzie pozyskiwania, jak też zużycia. Podczas badań prowadzono pomiary:

- temperatury czynnika grzewczego kierowanego do ogrzewanych pomieszczeń T_1 [$^{\circ}\text{C}$];
- temperatury czynnika grzewczego powracającego z ogrzewanych pomieszczeń T_2 [$^{\circ}\text{C}$];
- ilości przepływającego czynnika grzewczego V [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$];
- chwilowej mocy systemu P [kW];
- ilości ciepła pozyskanego i przekazanego do ogrzewanych pomieszczeń Q [GJ].

Wyniki pomiarów (m.in. temperatury wody wejściowej do odbiorników, temperatury wody wyjściowej z odbiorników, ilości przepływającego medium, prędkości przepływu wody w instalacji, ilości ciepła pozyskanej ze zbiornika buforowego) odczytywano codziennie od 8.00 do 14.00 co 2 godziny. Temperaturę powietrza atmosferycznego na zewnątrz oraz wewnątrz ogrzewanych pomieszczeń mierzono dwoma laboratoryjnymi termometrami rtęciowymi z aktualnym świadectwem wzorcowania. Dokładność wskazań termometrów wynosiła 1°C .

Wyniki badań

Z badań wynika, że zaprojektowana instalacja grzewcza, zarówno pod względem technicznym, jak też funkcjonalnym, spełnia założony cel, a prezentowany układ może być stosowany w niskotemperaturowych systemach grzewczych (tab. 1, rys. 3).

Podstawowymi czynnikami, potwierdzającymi prawidłowe działanie stanowiska badawczego, są wartości temperatury T_1 cieczy grzewczej dostarczonej do ogrzewanych pomieszczeń, wynoszące od 31 do ok. 43°C (średnio 37,8°C) oraz wartość temperatury T_2 cieczy grzewczej powracającej z obiegu do pompy ciepła, która wynosiła średnio ok. 30,97°C. Zatem $\Delta T = T_1 - T_2$, wynosiła średnio 6,84 K. Oznacza to, że określona ilość ciepła została oddana przez grzejniki w ogrzewanych budynkach. Średnia chwilowa moc systemu do pozyskiwania ciepła wyniosła 2,86 kW (rys. 4).

Całkowita ilość ciepła dostarczona do budynków w okresie od 12 grudnia 2011 r. do 14 lutego 2012 r. wynosiła 16,66 GJ. Temperatura wewnątrz ogrzewanej piwnicy budynku biurowego wynosiła od 15,27 do 15,39°C, średnio 15,33°C, natomiast w „Ekobudynku”, w którym znajduje się instalacja badawcza – od 10,8 do 15,4°C (średnio 13,1°C). Temperatura powietrza na zewnątrz budynku wynosiła od +7°C do -15°C.

Średnia wartość ciepła dostarczonego do „Ekobudynku” w badanym okresie wyniosła 0,270 GJ w ciągu doby (pomiar ok. godz. 8.00 rano). Ilość ciepła dostarczanego codziennie do piwnicy budynku biurowego była porównywalna i wynosiła ok. 0,268 GJ. Prędkość przepływu wody w układzie CO w okresie pomiarów od 12 do 15 grudnia 2011 r. (tab. 1) wynosiła $0,45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, a w pozostałym okresie $0,35 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Zmniejszenie prędkości przepływu czynnika grzewczego wpłynęło korzystnie na ilość ciepła oddawanego w grzejnikach, co potwierdziło zwiększenie wartości ΔT z 6,08 do 7,79 K. Na tej podstawie można wnioskować, że zmniejszenie prędkości przepływu wody w układzie CO o ok. 22% powoduje zwiększenie ilości oddawanego ciepła o ok. 28%. Jest to spowodowane tym, że gorąca woda wolniej przepływająca w instalacji ma więcej czasu na oddanie ciepła do otoczenia.

Podsumowanie i wnioski

Wyniki, przeprowadzonych w okresie zimowym, badań pozyskiwania ciepła z gruntu i wykorzystania go do ogrzewania budynków świadczą jednoznacznie o tym, że kierunek rozwoju energetyki odnawialnej jest właściwy i powinien być poddany dalszym analizom oraz wdrażany. Na podstawie uzyskanych rezultatów można sformułować niżej podane wnioski:

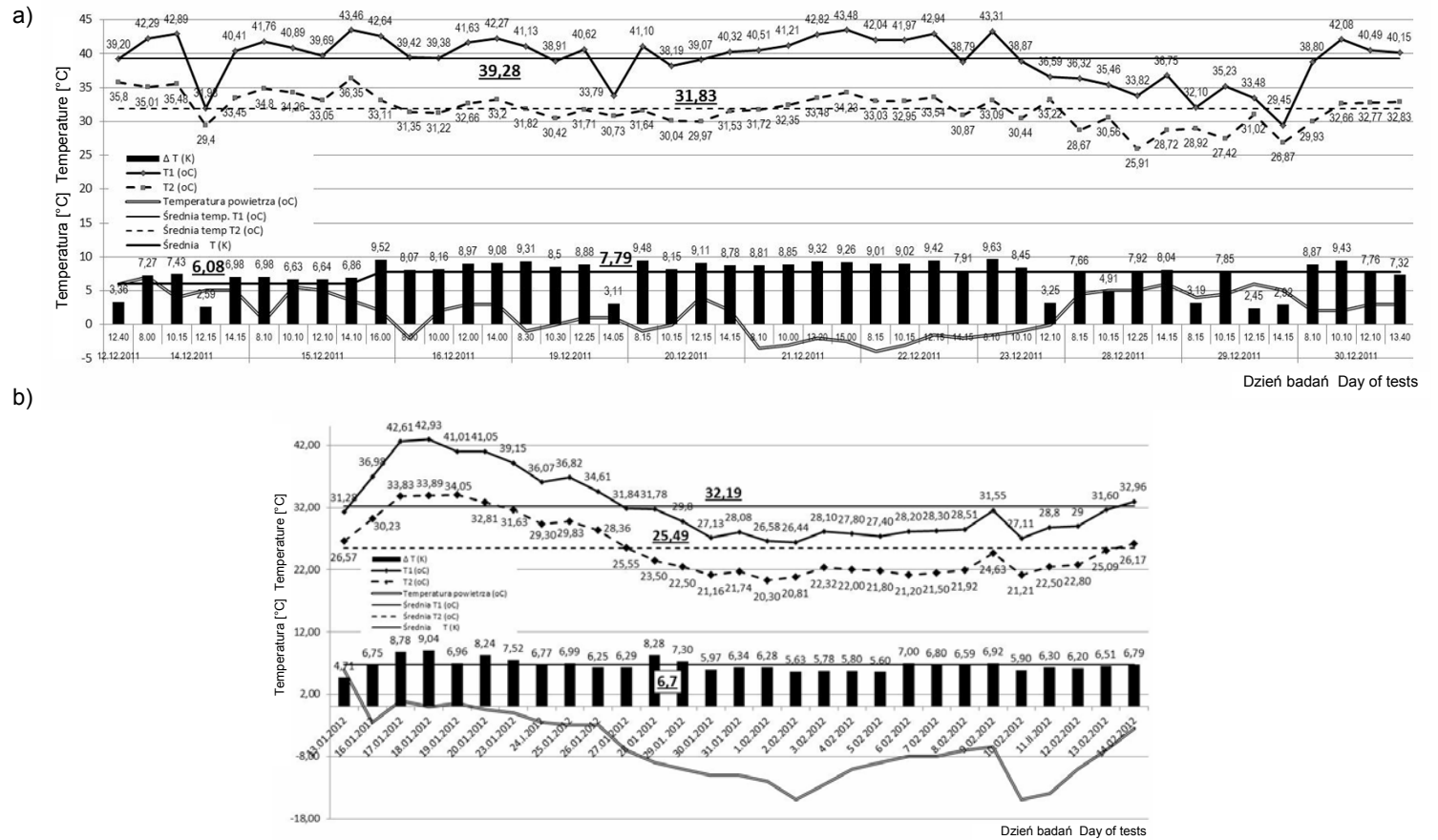
1. Pozyskiwanie ciepła z odwiertów geotermalnych z użyciem pompy ciepła umożliwiło uzyskanie średniej temperatury w układzie CO na poziomie 37,8°C.

Tabela 1. Fragment podstawowych parametrów i uzyskanych wyników badanej instalacji
Table 1. Fragment of basic parameters and obtained results of the installation examined

Ekobudynek Ecobuilding												
data date	godz. hour	T_z	T_w	ilość wody amount of water [m ³]	jedn. ciepło 1. budynku unit. heat of building 1. [GJ]	moc power [kW]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	ΔT [K]	przepływ flow [m ³ ·h ⁻¹]	jedn. ciepło 2. budynku unit. heat of building 2. [GJ]	
12.12.2011	12.40	6,0	16,5	53,183		1,66	39,20	35,80	3,36	0,438		
14.12.2011	8.00	7,0	16,0	72,640	0,560	3,67	42,29	35,01	7,27	0,443	0,580	
	10.15	4,0	16,0	73,720		3,90	42,89	35,48	7,43	0,459		
	12.15	5,0	16,5	74,684		3,50	31,98	29,40	2,59	0,459		
	14.15	5,0	17,0	75,599		3,43	40,41	33,45	6,98	0,429		
15.12.2011	8.10	0,5	16,0	83,724	0,262	3,60	41,76	34,80	6,98	0,450	0,268	
	10.10	5,5	16,0	84,617		3,42	40,89	34,26	6,63	0,450		
	12.10	5,0	17,0	85,634		3,43	39,69	33,05	6,64	0,452		
	14.10	3,5	16,5	86,651		3,36	43,46	36,35	6,86	0,461		
	16.00	2,0	16,0	87,096		3,76	42,64	33,11	9,52	0,345		
16.12.2011	8.00	-2,0	17,0	92,633	0,299	3,12	39,42	31,35	8,07	0,340	0,720	
	10.00	2,0	18,0	93,273		3,12	39,38	31,22	8,16	0,336		
	12.00	3,0	17,0	94,015		3,53	41,63	32,66	8,97	0,343		
	14.00	3,0	17,0	94,688		3,61	42,27	33,20	9,08	0,348		
19.12.2011	8.30	-1,0	13,5	118,067	0,763	3,67	41,13	31,82	9,31	0,343	0,801	
	10.30	0,0	15,0	118,744		3,09	38,91	30,42	8,50	0,319		
	12.25	1,0	15,0	119,415		3,53	40,62	31,71	8,88	0,347		
	14.05	1,0	15,0	119,986		1,21	33,79	30,73	3,11	0,348		
20.12.2011	8.15	-1,0	15,0	126,341	0,268	3,73	41,10	31,64	9,48	0,343	0,240	
	10.15	0,0	15,0	127,014		3,20	38,19	30,04	8,15	0,345		
	12.15	4,0	15,0	127,708		3,64	39,07	29,97	9,11	0,347		
	14.15	2,0	15,0	128,434		3,38	40,32	31,53	8,78	0,335		
21.12.2011	8.10	-3,5	14,5	134,657	0,275	3,42	40,51	31,72	8,81	0,339	0,280	
	10.00	-3,0	14,5	135,280		3,69	41,21	32,35	8,85	0,366		
	13.20	-2,0	14,5	136,457		3,73	42,82	33,48	9,32	0,349		
	15.00	-2,5	14,5	137,002		3,74	43,48	34,23	9,26	0,376		
22.12.2011	8.15	-4,0	14,0	143,110	0,304	3,84	42,04	33,03	9,01	0,373	0,210	
	10.15	-3,0	14,5	143,807		3,86	41,97	32,95	9,02	0,329		
	12.15	-1,5	15,0	144,508		3,83	42,94	33,54	9,42	0,355		
	14.15	-2,0	14,5	145,206		3,19	38,79	30,87	7,91	0,351		
23.12.2011	8.10	-1,5	15,5	151,557	0,300	3,63	43,31	33,09	9,63	0,330	0,198	
	10.10	-1,0	14,5	152,296		3,44	38,87	30,44	8,45	0,355		
	12.10	0,0	15,0	152,979		1,34	36,59	33,22	3,25	0,355		
28.12.2011	8.15	4,5	15,0	195,111	0,899	3,12	36,32	28,67	7,66	0,355	0,898	
	10.15	5,0	15,5	195,823		2,01	35,46	30,56	4,91	0,360		
	12.25	5,0	15,5	196,598		3,42	33,82	25,91	7,92	0,376		
	14.15	6,0	15,5	197,253		3,33	36,75	28,72	8,04	0,363		
29.12.2011	8.15	4,0	15,0	203,749	0,212	1,27	32,10	28,92	3,19	0,353	0,222	
	10.15	4,5	15,0	204,467		3,19	35,23	27,42	7,85	0,355		
	12.15	6,0	15,5	205,185		0,00	33,48	31,02	2,45	0,355		
	14.15	5,0	15,5	205,885		0,61	29,45	26,87	2,92	0,359		
30.12.2011	8.10	2,0	14,5	212,300	0,233	3,6,0	38,80	29,93	8,87	0,353	0,200	
	10.10	2,0	15,0	213,009		3,58	42,08	32,66	9,43	0,332		
	12.10	3,0	15,0	213,728		3,14	40,49	32,77	7,76	0,353		
	13.40	3,0	15,0	214,261		2,83	40,15	32,83	7,32	0,338		

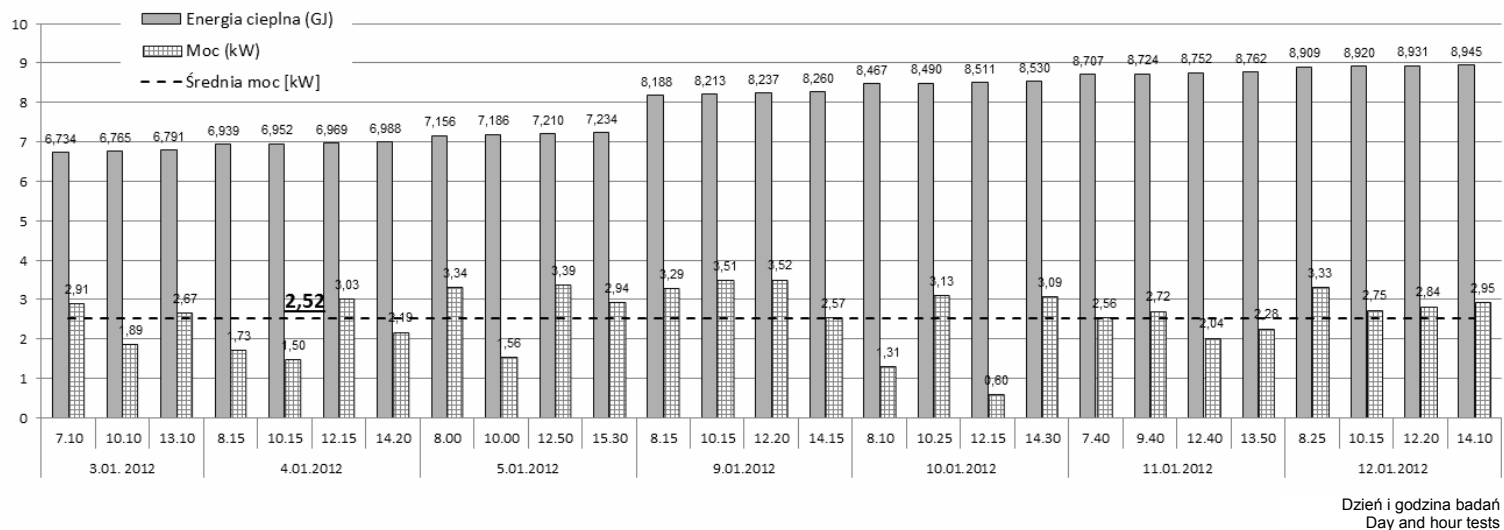
Objaśnienia: T_1 – temperatura czynnika grzewczego kierowanego do ogrzewanych pomieszczeń, T_2 – temperatura czynnika grzewczego powracającego z ogrzewanych pomieszczeń, $\Delta T = T_1 - T_2$, T_z – temperatura powietrza zewnętrznego, T_w – temperatura powietrza wewnętrznego.
 Explanations: T_1 – temperature of heating factor directed into rooms heated, T_2 – temperature of heating factor returning from heated rooms, $\Delta T = T_1 - T_2$, T_z – temperature of the ambient air, T_w – temperature of air inside.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 3. Podstawowe parametry pracy instalacji w okresie: a) 12.12–30.12.2011, b) 13.01–14.02.2012. Oznaczenia, jak pod tabelą 1.
Fig. 3. Basic working parameters of the installation within: a) 12.12– 30.12.2011, b) 13.01–14.02.2012. Notations – see table 1



© ITP w Falentach; PIR 2012 (VI-VII): z. 2(76)

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 4. Podstawowe parametry pracy instalacji w okresie 12.12–30.12.2011 r. i 13.01–14.02.2012 r.
 Fig. 4. Basic working parameters of the work of the installation within: 12.12–30.12.2011 and 13.01–14.02.2012.

2. Dzienna ilość ciepła w badanej konfiguracji systemu ogrzewania kierowanego do ogrzewanych obiektów wynosiła średnio 0,25 GJ, a w całym okresie 12.12.2011–14.02.2012 – 16,66 GJ;
3. Temperatura czynnika grzewczego (wody zasilającej grzejniki) T_1 wyniosła średnio 37,8°C, a temperatura wody powracającej z układu grzewczego T_2 – 30,97°C ($\Delta T = 6,84$ K);
4. Średnia chwilowa moc systemu do pozyskiwania ciepła wyniosła 2,86 kW;
5. Zmniejszenie prędkości przepływu czynnika grzewczego z 0,45 na 0,35 m³·h⁻¹ wpłynęło pozytywnie na ilość ciepła oddawanego przez grzejniki w ogrzewanych pomieszczeniach, o czym świadczy zwiększenie wartości ΔT z 6,08 do 7,79 K;
6. Zastosowany system odzysku ciepła funkcjonuje sprawnie w układzie niskotemperaturowych układów grzewczych, o czym świadczy właściwe działanie instalacji grzewczej; daje to podstawę do podejmowania działań, zmierzających do wdrażania tego typu rozwiązań.

Bibliografia

- ADAMOVSKI R., KARA J. 2001. Energy and Economic Aspects of Energy Integrated System of Farm for Pigs Breeding. Konferencja Naukowa pt. Techniczne, ekologiczne i ekonomiczne aspekty energetyki odnawialnej. Warszawa. SGGW s. 49–55.
- BAROTTI I. 1986. Coupled energetic analysis of air ventilation heat exchangers. CNRE Bulletin. Vol 11. s. 40–41.
- EBNÖTHER A., MENZL M., LESZEK P. 2007. Sondy geotermiczne z pompami ciepła jako alternatywa dla ogrzewania olejowego. W: Biuletyn Innowacyjny. Wrocław. Centrum Promowania Innowacji w Energetyce s. 13–20.
- GROCHAL B. J. 2008. O pompach ciepła słów kilka. Czysta Energia. Nr 3 s. 38–39.
- KAPUŚCIŃSKI J., RODZUCH A. 2006. Geotermia niskotemperaturowa w Polsce – stan aktualny i perspektywy rozwoju. Warszawa. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej ss. 148
- KREIS–TOMACZAK K. 2008. System pozyskiwania energii cieplnej z sond geotermalnych. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 2 (60) s. 167–173.
- LEWANDOWSKI W. 2006. Proekologiczne odnawialne źródła energii. Warszawa. WNT. ISBN 978-83-204-3660-0 ss. 432
- MYCZKO A., KARŁOWSKI J., AARNINK A. 2006. Determination of heat production in deep litter and in energy roof. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Vol. 51 s. 5–9.
- MYCZKO A., KARŁOWSKI J., NAWROCKI L., KREIS–TOMACZAK K. 2003. Proekologiczny budynek inwentarski – produkcja i wykorzystanie energii. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Vol 48 s. 67–70.
- NAWROCKI L. 2003. Wpływ odzyskiwania energii cieplnej z głębokiej ściółki na kształtowanie mikroklimatu w chlewni. Inżynieria Rolnicza. Nr 6 (48) ss. 188.
- PAHUD D. 2002. Geothermal energy and heat storage. SUPSI-DCT-LEEE. Canobbio. Laboratorio di Energia, Ecologia end Economia ss. 133.
- PAKSOY H.Ö. 1998. Underground thermal energy storage – A choice for sustainable future, 17th Congress of the World Energy Council. Huston. Technical papers s. 103–112.

PAWLAK J. 2007. Udział energii z zasobów odnawialnych w gospodarce narodowej i w rolnictwie. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 1(55) s. 87–94

RYBACH L., SANNER B. 2000. Ground–source heat pump systems the European experience. Geo-Heat Center Quarterly Bulletin. Klamath Falls. Oregon Institute of Technology. Vol 21 s. 16–26.

Wielkopolska Agencja Zarządzania Energią (WAZE) 2011. Strategia wzrostu efektywności energetycznej i rozwoju odnawialnych źródeł energii w Wielkopolsce na lata 2011–2020. Poznań ss. 83.

SZEPTYCKI A., WÓJCICKI Z. 2003. Postęp Technologiczny i Nakłady Energetyczne w Rolnictwie do 2020 r. Warszawa. IBMER. ISBN 83-86264-96-9 ss. 143.

Robert Szulc, Barbara Łaska

**INVESTIGATIONS ON THE UTILIZATION OF HEAT
FROM GEOTHERMAL BOREHOLES**

Summary

The installation gaining heat from low-temperature, renewable energy source, was investigated in order to heating two buildings. The study aimed to verify the effectiveness of functioning tested installation, to determine the quantity of heat gained from geothermal boreholes and utilized to space heating by means of the heat pump. Functional efficiency of assumed technical solution was evaluated, too. The measurements were conducted within 12.12.2011 and 14.02.2012, in laboratory of renewable energy (“Ecobuilding”), equipped among the others, with the heat pump, buffer container, two geothermal boreholes and monitoring-control system. As much as 16.66 GJ of heat was obtained and supplied to heated rooms. Average instantaneous power of the system reached 2.86 kW; flow velocity of heating factor amounted initially to $0.45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, and next $0.35 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Temperature difference of the heating factor on outlet and inlet to heat pump was on average 6.84 K. The temperature of heating factor (water supplying the heaters) T_1 reached on average 37.8°C , whereas the temperature of water returning from heating system T_2 was 30.97°C .

Key words: renewable energy, livestock building, heat, heat pump

Adres do korespondencji:

dr hab. inż. Robert Szulc, prof. nadzw.
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy
Oddział w Poznaniu
ul. Biskupińska 67, 60-463 Poznań
tel. 61 820-33-31 wew. 237; r.szulc@itep.edu.pl