

## RESULTS OF HEAT RECOVERY THREE-SYSTEM FROM THE DAIRY CATTLE BARN

### Summary

This article presents the methodology, test stand and test results of the three-system heat recovery circuit in the dairy cattle barn. The study concerned the possibility of heating of drinking water for animals, for sanitary purposes, and technology using heat recovered from the water washing of milking installation "2x4 herringbone" Milk Cooler and further extracted heat from the liquid solar collector. The study was carried out and the results obtained were analyzed in the following categories: 1) all three heat sources acting independently, 2) three sources acting together 3) selected two sources of heat together. The water temperature in two-coils heat exchanger, which is also usable water tank, using only work of solar collector reached the level of 45-48°C. Heat removal from the installation allowed for heating the wash water to a temperature of 14-16°C. While the power of heat from the water washing Cooler water allowed to reach in the tank temperature about 2-2.5°C only.

**Key words:** dairy cattle; barns; milking installation; milk cooler; solar collector; water; thermal energy; recycling system; research method; test stand; experimentation

## WYNIKI BADAŃ TRÓJSYSTEMOWEGO UKŁADU ODZYSKU CIEPŁA Z OBORY BYDŁA MLECZNEGO

### Streszczenie

Przedstawiono metodykę, stanowisko badawcze i wyniki badań trójsystemowego układu odzysku ciepła w oborze bydła mlecznego. Badania dotyczyły możliwości podgrzewania wody pitnej dla zwierząt, do celów sanitarnych oraz technologicznych wykorzystując ciepło odzyskiwane z wody myjącej instalację udojową typu „Rybia ość 2x4”, schładzalnik mleka oraz dodatkowo pozyskując ciepło z cieczowego kolektora słonecznego. Badania prowadzono oraz uzyskane wyniki analizowano w następujących kategoriach: 1) wszystkie trzy źródła ciepła działające niezależnie, 2) trzy źródła działające razem 3) wybrane dwa źródła ciepła działające razem. Temperatura wody w dwuwężownicowym wymienniku ciepła, będącego zarazem zbiornikiem na wodę użytkową, z wykorzystaniem tylko pracy kolektora słonecznego osiągała poziom 45–48°C. Odbiór ciepła z instalacji myjącej pozwalał na podgrzanie wody użytkowej do temperatury 14–16°C. Natomiast wspomaganie układu ciepłem z wody myjącej schładzalnik umożliwiło osiągnąć wyższą temperaturę wody w zbiorniku tylko o 2–2,5°C.

**Słowa kluczowe:** bydło mleczne; obory; instalacja udojowa; schładzalnik mleka; kolektor słoneczny; woda; energia ciepła; system odzysku; metodyka badawcza; stanowisko badawcze; badania

### 1. Wstęp

Ogólnoświatowa polityka gospodarowania energią oraz ukierunkowanie jej na ochronę środowiska przejawia się w nastawieniu na wykorzystanie Odnawialnych Źródeł Energii (OZE). Wykorzystanie Odnawialnych Źródeł Energii w ramach potrzeb energetycznych polskiego rolnictwa zwiększa się stopniowo. W 1996 roku wynosiło ono 14%, a w 2002 roku – 15%. Prognozy przewidywały 21% wykorzystanie OZE w rolnictwie w roku 2010 [2]. Kierunek ten w Polsce, szczególnie w rolnictwie, jest coraz popularniejszy tym bardziej, że potrzeby energetyczne kraju rosną [4]. Produkcja rolnicza wymaga znacznych nakładów energii – przede wszystkim w postaci energii elektrycznej oraz paliw. Energia elektryczna jest wykorzystywana głównie do przetworzenia jej na energię cieplną – do mycia instalacji, pomieszczeń, lokalnego dogrzewania zwierząt, podgrzewania poidel, wody technologicznej, wody sanitarnej w pomieszczeniach technicznych i socjalnych, oraz ogrzewania pomieszczeń. Produkcja zwierzęca oraz związane z nią zabiegi i procesy technologiczne charakteryzują się zarówno znacznymi nakładami energetycznymi, ale też możliwością odzyskiwania energii cieplnej, która może być ponownie wykorzystywana do innych celów. W przypadku chowu bydła mlecznego wykazano, że znaczne nakłady energetyczne wynikają z przeprowadzania doju i wstępnej obróbki

mleka oraz mycia instalacji udojowej [3]. Prowadzone w IBMER (obecnie ITP) badania „Ekodachu” będącego wodnym kolektorem słonecznym wykazały, iż możliwe jest uzyskanie mocy na poziomie 670 W/m<sup>2</sup> [1].

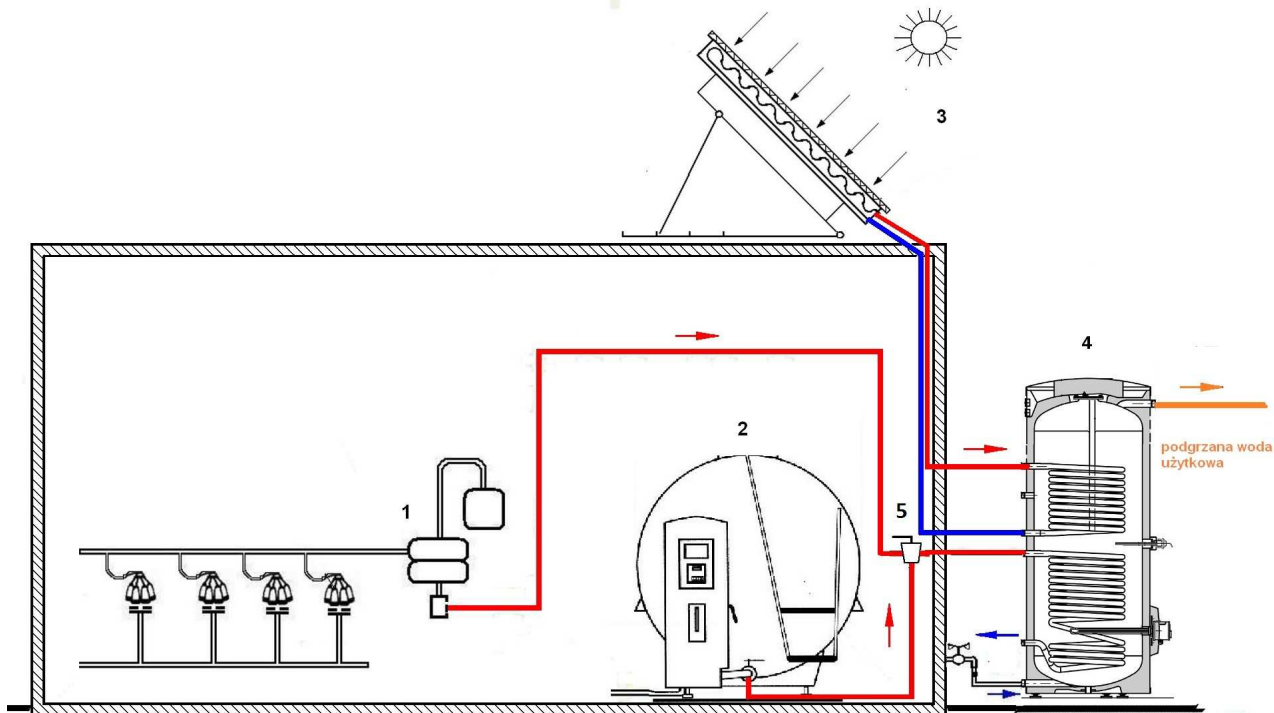
### 2. Cel i zakres pracy

Głównym celem pracy było zweryfikowanie i opracowanie energooszczędnych technik gospodarowania energią w procesie pozyskiwania i wstępnej obróbki mleka w rozwojowych, dużych gospodarstwach rodzinnych i farmerskich. Dodatkowym celem było określenie możliwości zastosowania urządzeń i systemów umożliwiających ograniczenie zużycia energii elektrycznej i cieplnej, a w konsekwencji zmniejszenie nakładów ekonomicznych oraz emisji dwutlenku węgla.

Zakres badań obejmował pomiary ilości i temperatury wody myjącej instalację udojową, zbiornik na mleko oraz pozyskanie ciepła z wykorzystaniem cieczowego kolektora słonecznego.

### 3. Stanowisko badawcze

Badania trójsystemowego układu do odzysku ciepła prowadzono w dojarni wolnostanowiskowej obory bydła mlecznego w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w Poznaniu ze stadem 69 krów, wyposażonej w dojarnię typu „Rybia ość 2x4”,



Rys. 1. Schemat organizacyjny stanowiska badawczego: 1 – myjnia, 2 – schładzalnik, 3 – cieczowy kolektor słoneczny, 4 – dwusystemowy wymiennik ciepła, 5 – zawór trójdrożny  
 Fig. 1. Organization chart of the test: 1 - wash, 2 - cooler, 3 - liquid solar collector, 4 - two-mode heat exchanger, 5 - three-way valve

myjnię instalacji udojowej Hygienius C200 i schładzalnik typu zamkniętego o pojemności 2500 dm<sup>3</sup>. Na rys. 1 przedstawiono trójsystemowy układ odzysku ciepła, wyposażony w dwuwężownicowy wymiennik ciepła Vitocell 100-B firmy Viessmann – 4, posiadający w płaszczu dwa niezależne moduły grzewcze, które mogą być zasilane energią ciepłą z dwóch niezależnych źródeł. Pojemność zbiornika wynosiła 300 dm<sup>3</sup>, a powierzchnia grzewcza 0,9 m<sup>2</sup> (węzownica górna) oraz 1,5 m<sup>2</sup> (węzownica dolna).

Badany trójsystemowy układ odzysku ciepła składał się z następujących źródeł energii (rys. 1):

- kolektora cieczowego Hevelius SCM-20 – 3,
- myjni instalacji w hali udojowej – 1,
- myjni schładzalnika do mleka – 2,
- wymiennika ciepła – 4.

Kolektor HEVELIUS SCM-20 (rys. 2) wykonano z 20 rur próżniowych o długości 1800 mm. Dane techniczne poddanego badaniom kolektora zamieszczono w tab. 1.



Rys. 2. Cieczowy kolektor słoneczny Hevelius  
 Fig 3. Liquid solar collector Hevelius

Tab. 1. Dane techniczne zastosowanego solarnego kolektora cieczowego (Źródło / source: BIAWAR NIBE)  
 Table 1. Specifications of used liquid solar collector

Model kolektora	Hevelius SCM-20 58/1800
Wymiary AxBxCxD	1670x1990x1740x1605 mm
Ilość rur	20 szt.
Długość pojedynczej rury	1800 mm
Powierzchnia czynna absorbera	2,57 m <sup>2</sup>
Masa bez czynnika roboczego	49 kg
Rurka heat-pipe	miedziana, średnica 8 mm
Konfiguracja	dwie rury szklane współśrodkowe
Materiał	szkło borosilikatowe
Średnica zewnętrzna rury	58 mm
Średnica wewnętrzna rury	47 mm
Powierzchnia absorpcyjna	stopniowa selektywna Al.-N/Al.
Współczynnik absorpcji rury zewnętrznej	92%
Współczynnik emisji (przy temp. 80°C)	8%
Temperatura stagnacji	>230°C
Współczynnik przenikalności cieplnej	<0,80 W/m <sup>2</sup> °C
Maks. ciśnienie robocze	10 bar

#### 4. Metodyka

Badania polegały na tym, iż woda zużyta do mycia instalacji udojowej oraz schładzalnika mleka każdorazowo, po zakończonym procesie mycia, była kierowana do górnej węzownicy wymiennika ciepła za pośrednictwem zaworu trójdrożnego 5 (rys. 1). Zawór ten umożliwiał wpuszczanie do wymiennika na przemian zużytą wodę z instalacji udojowej oraz schładzalnika mleka. Węzownica dolna była za-

silana glikolem ogrzewanym w cieczowym kolektorze słonecznym 1 (rys. 1). Zbiornik na mleko opróżniany był co drugi dzień, zatem po zakończonym myciu schładzalnika, ręcznie przestawiany był zawór trójdrożny w pozycję umożliwiającą skierowanie ciepłej, zużytej wody do wymiennika ciepła, nie kolidując tym samym z wodą zużytą po myciu instalacji udojowej.

Wymiennik dwusystemowy (rys. 3) o pojemności 300 dm<sup>3</sup>, stanowił jednocześnie zbiornik na podgrzaną wodę z przeznaczeniem do pojenia zwierząt oraz wodę technologiczną i sanitarną.



Rys. 3. Wymiennik dwuwężownicowy  
Fig 3. The two-mode heat exchanger

Badania trwały od maja 2010 do czerwca 2011 roku. Podgrzewanie wody w kolektorze słonecznym odbywało się niezależnie od zabiegów i prac wykonywanych w oborze i dojarni i woda podgrzana przy jego udziale w trybie ciągłym zasilala wymiennik ciepła.

Odczyt wyników pomiarów (m.in. temperatura wody wejściowej, temperatura wody wyjściowej z wymiennika, ilość zużytej wody, prędkość przepływu wody w instalacji, ilość ciepła pozyskana w wyniku pracy wymiennika) odbywała się codziennie rano po zakończonym myciu instalacji udojowej. Wykorzystano do tego następujące urządzenia zapisujące dane w modułach pamięci:

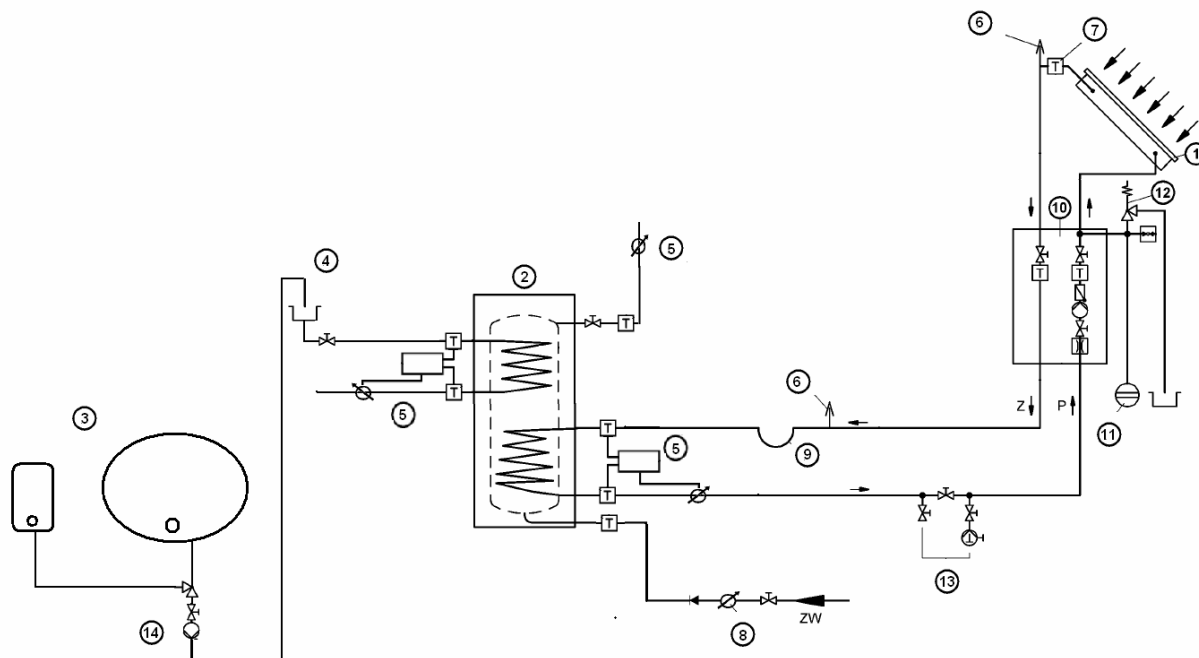
- komputer – (sterownik) ecoSOL 200, obsługujący kolektor słoneczny,
- ciepłomierze – 2 sztuki.

Mycie instalacji udojowej odbywało się dwa razy dziennie, natychmiast po doju, natomiast mycie schładzalnika mleka miało miejsce co drugi dzień po opróżnieniu i odbiorze mleka.

## 5. Wyniki badań

W trakcie prowadzonych badań odzysku ciepła z wody myjącej instalację udojową, schładzalnik oraz pozyskiwaniem ciepłej wody z wykorzystaniem cieczowego kolektora słonecznego, uzyskano wyniki, które zamieszczono w tab. 2. Zawarto w niej ilość energii pozyskanej z eksploatacji cieczowego kolektora słonecznego. Najważniejszymi parametrami danymi są:

- moc cieplna mycia instalacji udojowej [kW],
- ilość pozyskanego ciepła [GJ],
- dzienne oraz całościowe pozyskiwanie energii cieplnej z wykorzystaniem kolektora słonecznego [kWh].



Rys. 4. Schemat ideowy stanowiska badawczego: 1 – cieczowy kolektor słoneczny, 2 – dwusystemowy wymiennik ciepła, 3 – schładzalnik i myjnia hali udojowej, 4 – zbiornik buforowy zaworem dławiącym, 5 – ciepłomierz, 6 – odpowietrznik, 7 – pomiar temperatury, 8 – wodomierz, 9 – pętla termoizolacyjna, 10 – zespół pompowy kolektora, 11 – naczynie zbiorcze, 12 – zawór bezpieczeństwa, 13 – napełnianie instalacji, 14 – pompa z zaworem

Fig. 4. Schematic diagram of the test stand: 1 - liquid solar collector, 2 - two-mode heat exchanger, 3 - Cooler and parlor wash, 4 - storage tank throttle valve, 5 - heat meter, 6 - vent, 7 - Temperature Measurement, 8 - water meter, 9 - loop thermal insulation, 10 - pump manifold assembly, 11 - bulk vessel, 12 - safety valve, 13 - filling plant, 14 - pump with valve

Tab. 2. Wyniki badań trójsystemowego układu pozyskiwania energii i cieczowego kolektora słonecznego (badania własne)  
 Table 2. The results of three-system energy acquisition and liquid solar collector (own research)

Dzień (Tydzień 1 i 2)	Pozyskanie energii z kolektora słonecznego [kWh/Dzień]	Temperatura [°C]			Instalacja myjąca (dojarnia)					Mycie schładzalnika	
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>zew</sub>	Ilość zużytej wody [m <sup>3</sup> ]	Temp. wody T <sub>4</sub> [°C]	Prędkość przepływu [m <sup>3</sup> /h]	Moc cieplna [kW]	Ilość ciepła [GJ]	Ilość zużytej wody [m <sup>3</sup> ]	Temp. wody T <sub>5</sub> [°C]
1	1,8	52,5	42,5	24	0,15	27,5	0,435	1	0,001	54	53,5
2	1,5	44,1	41,9	23	0,1	25,9	0,422	0,926	0,001	-	-
3	2	47,4	42,8	23	0,1	26,5	0,453	0,93	0,001	62	52,8
4	2,4	55	44,9	25	0,1	26,7	0,425	0,92	0,001	-	-
5	2,4	45,2	45,1	24	0,15	25,8	0,459	0,585	0,001	73	53,1
6	1,9	42,5	44,2	20	0,1	25,6	0,458	0,52	0,001	-	-
7	2,6	49,8	46	23	0,107	26,4	0,435	0,603	0,001	60	51
8	2,5	50,7	45,5	22	0,104	25,2	0,438	0,603	0,001	-	-
9	2,6	43,8	46,8	23	0,094	27	0,46	0,43	0,005	59	54,1
10	2,1	42,9	46,1	20	0,09	27,8	0,45	0,3	0,005	-	-
11	1,8	40,5	45,8	21	0,12	27,9	0,43	0,62	0,005	71	53,9
12	2,9	52,2	47,1	25	0,1	28,1	0,442	0,5	0,001	-	-
13	2,8	46,9	47	22	0,15	26,9	0,431	0,71	0,002	64	52,5
14	2,5	51,1	46,8	21	0,09	25	0,45	0,535	0,001	-	-
<b>Średnia Tydzień 1-2</b>	<b>2,27</b>	<b>47,47</b>	<b>45,18</b>	<b>22,57</b>	<b>0,111</b>	<b>26,593</b>	<b>0,442</b>	<b>0,656</b>	<b>0,002</b>	<b>63,29</b>	<b>52,99</b>
Średnia Tydzień 3	2,35	48,82	46,71	23,52	0,12	27,8	0,44	0,701	0,001	60,9	53,1
Średnia Tydzień 4	2,1	42,94	44,99	21,95	0,11	26,2	0,443	0,662	0,001	64,1	52,88
Średnia Tydzień 5	2,52	45,18	47,85	23,81	0,105	26,9	0,439	0,659	0,002	62,9	52,95
Średnia Tydzień 6	2,23	46,56	48,14	22,45	0,118	27,5	0,441	0,685	0,001	59,7	53,4
<b>Średnia Tydzień 1-6</b>	<b>2,29</b>	<b>46,19</b>	<b>46,57</b>	<b>22,86</b>	<b>0,113</b>	<b>26,999</b>	<b>0,441</b>	<b>0,673</b>	<b>0,001</b>	<b>62,18</b>	<b>53,06</b>

W tab. 2 przedstawiono średnie wartości pozyskanej energii z sześciu tygodni badań i pracy kolektora słonecznego, temperatury wody użytkowej (T<sub>2</sub>) oraz temperatury cieczy roboczej w kolektorze słonecznym (T<sub>1</sub>). Jak widać przez cały okres badań średnia temperatura wody użytkowej, podgrzewanej przez cieczowy kolektor słoneczny, wynosiła ok. 45-48°C. Jest to wystarczająco wysoka temperatura wody przeznaczonej m.in. na cele sanitarne, do mycia pomieszczeń inwentarskich. Natomiast do pojenia zwierząt woda ta ma zbyt wysoką temperaturę. Dlatego w przypadku zastosowania kolektora słonecznego tylko w celu podgrzewania wody do pojenia zwierząt lub zagospodarowania nadwyżki wody po wykorzystaniu do celów sanitarnych i technologicznych, należałoby zastosować takie rozwiązanie techniczne, które umożliwiałoby mieszanie wody ciepłej z zimną, a dopiero po osiągnięciu temperatury ok. 16-18°C skierowanie jej do poideł.

Drugi etap badań dotyczył określenia ilości odzyskanego ciepła z wody myjącej instalację udojową. Pomiar wykazał, że w systemie cyrkulacyjnym temperatura wody opuszczającej instalację wynosi 26-28°C, a jej znikoma ilość (w przypadku hali udojowej typu „Rybia ość 2x4” ok. 60-80 dm<sup>3</sup>) nie odgrywa roli w podgrzewaniu świeżej wody w zbiorniku buforowym (wymyenniku ciepła) przeznaczonej do celów sanitarnych lub do kolejnego mycia instalacji udojowej. Podgrzana wstępnie woda wodociągowa, osiągająca temperaturę ok. 14-16°C, nadaje do pojenia zwierząt. Nie wielkie korzyści z odzyskania ciepła sprawiają, że rozwiązanie powyższe nie jest opłacalne.

Ilość odzyskanego ciepła z wody myjącej schładzalnik zależała od ilości używanej wody oraz jej temperatury. Ilość zużytej wody była zmienna i zależała tylko od czasu pracy dojarka przeprowadzającego zabiegi sanitarne hali udojowej oraz zlewni mleka i wynosiła od 54 do 73 dm<sup>3</sup>, co dało średnią wartość (z sześciu tygodni) w granicach od 59,7 do 64 dm<sup>3</sup>.

## 6. Spostrzeżenia i podsumowanie

Analiza literatury wykazała, iż wcześniej już prowadzono badania w zakresie pozyskiwania ciepła z wykorzystaniem kolektorów cieczowych, wymienników ciepła i pomp ciepła. Jednak mimo daleko posuniętych prac i badań w zakresie wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii, to obecnie nadal brakuje pełnych i wyczerpujących danych określających efektywność pozyskiwania ciepła z synchronizowanych systemów cieczowych kolektorów słonecznych i odzysku ciepła z wody technologicznej w oborze bydła mlecznego. Wyniki dotychczas prowadzonych badań można uznać za częściowo spełniające oczekiwania i zachęcają do prowadzenia w pełni kompleksowych badań mogących dawać zadowalające wyniki.

W trakcie badań system odzysku ciepła w okresie od października do listopada dostarczył 151,3 kWh energii, a w okresie od czerwca do września – 282,5 kWh energii. Przełożyło się to na dzienne pozyskanie energii na poziomie 3,58 kWh/dzień (jesień) i 3,82 kWh (lato). Eksploatacja samego kolektora słonecznego w miesiącach letnich (czerwiec, lipiec, sierpień, wrzesień) pozwoliła pozyskać 201,0 kWh, a jesienią (październik, listopad) 110,2 kWh energii, czyli 1,67 kWh/dzień latem i 1,3 kWh jesienią.

Można by przypuszczać, że w okresie letnim odzysk ciepła z kolektora powinien być proporcjonalnie większy niż jesienią. Jednak z powodu charakterystyki pracy kolektora i jego właściwości technicznych, które pozwalają na podgrzewanie wody nawet przy niskich temperaturach powietrza jesienią, lecz warunkiem jest intensywne nasłonecznienie, natomiast latem, nawet przy o wiele wyższej temperaturze powietrza, ale przy dużym zachmurzeniu, efektywność jego pracy była bardzo niska lub bliska zeru. Wyniki wskazują, iż pozyskiwanie energii cieplnej z wody myjącej instalację udojową ma charakter

stabilny i wynosi 0,001 GJ dziennie. Tylko podczas dwóch pomiarów uzyskano wynik 0,005 GJ, lecz to może być spowodowane większą ilością użytej wody myjącej podczas prób i kontroli pracy instalacji lub wyższą zadaną temperaturą mycia. Pomiarzy te zostaną ponownie przeprowadzone i zweryfikowane.

Eksploatacja trójsystemowego układu ciepła, składającego się z instalacji myjącej dojarnię, schładzalnika oraz kolektora słonecznego nasunęła dodatkowe spostrzeżenia. Podgrzewanie wody w jednym wspólnym zbiorniku (wymywniku ciepła 4 – rys. 1) z trzech niezależnych źródeł jest w takiej formie nieefektywne i nieoptymalne, gdyż ilość ciepła uzyskana z kolektora była większa niż ciepło pochodzące z instalacji myjącej i mycia schładzalnika. Nagrzana woda użytkowa w zbiorniku do temperatury (ok. 45-48°C) była niepotrzebnie chłodzona przez doprowadzenie do niej ciepła w mniejszej ilości pochodzącego z mycia instalacji udojowej i schładzalnika. Można zatem mówić o specyficznym konflikcie termicznym i paradoksie, gdyż poprzez dostarczanie odzyskanej energii cieplnej z dwóch pozostałych źródeł (myjnia i schładzalnik) obniża się w zbiorniku temperaturę wody podgrzanej wcześniej przez kolektor. Korzystniejsza byłoby rezygnacja z odzysku ciepła z dwóch pozostałych źródeł o niższym potencjale energetycznym lub też skierowanie ciepła z nich pozyskanego do oddzielanych, niezależnych zbiorników. Tylko taki układ umożliwiłby podgrzanie wody w jednym zbiorniku do temperatury wyższej (na co pozwoliłby kolektor) i efektywniejsze jej wykorzystanie lub podgrzanie wody o niższej temperaturze w dodatkowym zbiorniku i wykorzystanie jej do innych celów.

W trakcie badań trójsystemowego układu odzysku ciepła ustalono, że:

1. W okresie od października do listopada uzyskano 151,3 kWh energii cieplnej (3,58 kWh/dzień), z czego 110 kWh

pochodziło z kolektora słonecznego (1,3 kWh/dzień).

2. W okresie od czerwca do września uzyskano 282,5 kWh energii (3,82 kWh/dzień), z czego 201,0 kWh pochodziło z kolektora słonecznego (1,67 kWh/dzień).

3. Woda podgrzana kolektorem słonecznym do średniej temperatury 46,19°C stanowi cenne źródło ciepłej wody wykorzystywanej do celów sanitarnych lub technologicznych w budynku inwentarskim. Jednak wykorzystanie jej do pojenia zwierząt wymagałoby mieszania z zimną wodą do temperatury ok. 16-18°C.

4. Podgrzewanie wody z trójsystemowego układu ciepła, składającego się z instalacji myjącej dojarnię, schładzalnika oraz kolektora słonecznego, jest nieefektywne z powodu konieczności chłodzenia wody wcześniej podgrzanej.

5. W celu wykorzystania wszystkich trzech źródeł ciepła do podgrzewania wody należałoby zastosować dodatkowy zbiornik na wodę użytkową o niższej temperaturze.

## 7. Bibliografia

- [1] Kreis-Tomczak K., Szulc R., Pawlak S., Myczko A.: Ekonomiczno-energetyczne aspekty eksploatacji dachu energetycznego. *Inżynieria Rolnicza*, 2006, 3(78): 183-190.
- [2] Biopaliwo, gliceryna, pasza z rzepaku. Praca zbiorowa pod red. Witolda Podkówki. Bydgoszcz: Wydawnictwo Akademii Techniczno-Rolniczej, 2004, ss. 225.
- [3] Szulc R.: Techniki pozyskiwania mleka w oborach wolnostanowiskowych. Rozprawa doktorska, IBMER, 2003.
- [4] Szulc R., Myczko A.: Wpływ stosowania dachu energetycznego na efekty ekonomiczne w chowie zwierząt gospodarskich. Rola infrastruktury i techniki w zrównoważonym rozwoju rolnictwa. Monografia, IBMER Warszawa, 2005: 101-106.
- [5] Tymiński J.: Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w Polsce do 2030 roku. Aspekt energetyczny i ekologiczny. IBMER, Warszawa, 1997.