

WYKORZYSTANIE CIEPŁA ODPADOWEGO ZE SCHŁADZANIA MLEKA DO OGRZEWANIA WIEJSKIEGO BUDYNKU MIESZKALNEGO

Tomasz Olkowski

*Katedra Elektrotechniki, Energetyki, Elektroniki i Automatyki
Uniwersytet Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie*

Andrzej Koniecko, Łukasz Przybylski

Warmińsko-Mazurska Agencja Energetyczna Sp. z o.o. w Olsztynie

Streszczenie. W pracy przedstawiono rozważania teoretyczne nad wykorzystaniem ciepła odpadowego ze schładzania mleka do celów grzewczych, na tle wybranych konwencjonalnych technologii produkcji ciepła w wiejskim budynku mieszkalnym. W artykule przedstawiono także przybliżone wyniki rachunku kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Wykorzystanie ciepła odpadowego z procesów technologicznych jest jednym z elementów ograniczania zużycia paliw, które z roku na rok stają się coraz droższe, a w szerszej perspektywie przyczyni się do poprawy stanu środowiska naturalnego przez zmniejszenie emisji CO₂ do atmosfery. Ciepło odpadowe z procesu schładzania mleka stanowi istotne źródło energii cieplnej w bilansie energetycznym gospodarstw rolnych, w których prowadzi się chów bydła mlecznego. Na rynku krajowym od wielu lat są dostępne systemy umożliwiające odzysk energii cieplnej odbieranej od chłodzonego mleka i wykorzystywanej do przygotowania ciepłej wody użytkowej, którą – w zależności od jej ilości i potrzeb – można wykorzystać do celów produkcyjnych w oborze lub w gospodarstwie domowym. Z przeglądu literatury wynika natomiast, że brakuje szerszych informacji na temat wykorzystania ciepła odpadowego ze schładzania mleka w instalacjach centralnego ogrzewania. Dlatego celem artykułu jest uzupełnienie wiedzy w tym zakresie.

Słowa kluczowe: ciepło odpadowe, mleko, pompa ciepła, zapotrzebowanie budynku na ciepło, koszty inwestycyjne, koszty eksploatacyjne

Wprowadzenie

Wykorzystanie ciepła odpadowego z procesów technologicznych jest jednym z elementów ograniczania zużycia paliw, które z roku na rok stają się coraz droższe, a w szerszej perspektywie przyczyni się do poprawy stanu środowiska naturalnego przez zmniejszenie emisji CO₂ do atmosfery. W tej sytuacji ciepło odpadowe z procesu schładzania

mleka stanowi jedno z ważnych źródeł energii cieplnej dla gospodarstw rolnych nie tylko w aspekcie poprawy bilansu energetycznego, ale także w kontekście polityki proekologicznej.

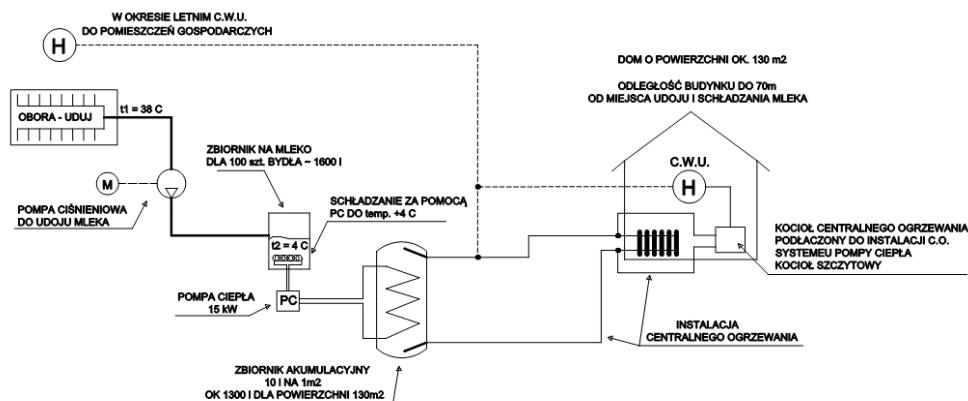
Na krajowym rynku już od wielu lat dostępne są systemy umożliwiające odzysk energii cieplnej odbieranej od chłodzonego mleka (Kupczyk i in., 2001; Rzeźnik i in., 2007; Szulc i Myczko, 2010). Tak otrzymaną energię wykorzystuje się następnie do przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), którą – w zależności od jej ilości i potrzeb – można wykorzystać do celów produkcyjnych w oborze i/lub w pobliskim gospodarstwie domowym, np. do celów związanych z utrzymaniem higieny, przygotowania posiłków itp.

Jak wynika z artykułu prasowego Piechowskiej (2009), wykorzystanie ciepła odpadowego ze schładzania mleka w instalacjach centralnego ogrzewania (c.o.) odbywa się w niektórych gospodarstwach rolnych duńskiej wyspy Samsø, na której 100% zużywanej energii pochodzi ze źródeł odnawialnych. Stąd u autorów niniejszego artykułu zrodziła się idea przeniesienia tego rozwiązania na polski grunt. Jednakże w dostępnej literaturze naukowej ani branżowej nie odnaleziono szerszych informacji na temat takiej technologii. Dlatego autorzy artykułu opracowali własną koncepcję wykorzystania ciepła odpadowego z procesu schładzania mleka jako alternatywnego źródła energii do ogrzewania wiejskiego budynku mieszkalnego.

Material, metodyka i obliczenia

W prezentowanej koncepcji założono, że ciepło otrzymywane ze schładzania mleka będzie przekazywane do budynku z wykorzystaniem pompy ciepła. Do obliczeń wybrano wiejski budynek mieszkalny – typowy dom jednorodzinny o powierzchni 130 m².

Ilość ciepła potrzebną do ogrzewania danego budynku obliczono na podstawie wskaźników sezonowego zapotrzebowania ciepła na 1 m² powierzchni w ciągu roku. Wskaźniki te przyjmują wartości od 15 kWh·m⁻²·rok⁻¹ dla domów pasywnych do nawet 350 kWh·m⁻²·rok⁻¹ dla budynków wybudowanych przed 1966 rokiem (Żurawski, 2008). Do obliczeń przyjęto wartość wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło równą 140 kWh·m⁻²·rok⁻¹ – dla budynków wybudowanych w latach 1993–2007. Przyjęta za Żurawskim (2008) wartość wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło jest wartością średnią, a zatem otrzymane dalej wyniki całkowitego rocznego zapotrzebowania na ciepło dla rozpatrywanego budynku trzeba traktować jako średnie roczne zapotrzebowanie na ciepło. Oznacza to, że obliczona ilość ciepła nie będzie w pełni pokrywać potrzeb grzewczych tego budynku w okresie zimowym oraz należy przypuszczać, że będzie stanowić nadwyżkę ciepła w okresie letnim. W czasie zwiększonego zapotrzebowania na ciepło w miesiącach zimowych niedobory ciepła z procesu schładzania mleka można pokryć, stosując dodatkowe źródło ciepła, np. kocioł wodny c.o., co uwzględniono na schemacie przedstawionym na rysunku 1. Istnieją także potencjalne możliwości magazynowania nadwyżek ciepła generowanych w miesiącach wiosenno-letnich w przeznaczonych do tego celu akumulatorach ciepła (Kurpaska i in., 2012; Hołownicki i in., 2012; Domański i Moszyński, 1983; Lewandowski i Meler, 2010a, 2010b).



Rysunek 1. Schemat rozwiązania dla wykorzystania ciepła odpadowego ze schładzania mleka do ogrzewania wiejskiego budynku mieszkalnego
 Figure 1. A schematic representation of a solution for using waste heat from cooling milk for heating a rural residential building

A zatem średnie roczne zapotrzebowanie ciepła Z_C do ogrzania domu o powierzchni 130 m^2 wynosi:

$$Z_C = 140 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot 130 \text{ m}^2 = 18200 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \quad (1)$$

Do przedstawionej wartości Z_C założono występowanie do 20% strat ciepła Q_s podczas transportu ciepła z obory do budynku. W związku z tym całkowite potrzeby grzewcze CZ_C budynku o powierzchni 130 m^2 wyniosą:

$$CZ_C = Z_C + Q_s = 18200 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1} + 20\% = 21840 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \quad (2)$$

Po analizie kart katalogowych pomp ciepła dostępnych na rynku krajowym stwierdzono, że dla zaspokojenia potrzeb grzewczych wybranego budynku mieszkalnego potrzebna jest pompa ciepła o mocy 9 kW.

Ilość ciepła możliwą do pozyskania z procesu schładzania mleka od temperatury $t_1 = 38^\circ\text{C}$ do wymaganej temperatury przechowywania mleka $t_2 = 4^\circ\text{C}$ (Romaniuk i Overby, 2004; Daniel, 2009) obliczono wg metodyki przedstawionej poniżej.

1. Wyznaczono ciepło właściwe mleka c_{ml} z następującej zależności (Niesteluk, 1996), która ma zastosowanie dla mleka z zakresu temperatur $273 \div 358 \text{ K}$:

$$c_{ml} = 444 + 609,56 \ln T, \quad (3)$$

gdzie:

T – temperatura mleka (K).

Stąd ciepło właściwe mleka o temperaturze 38°C (311 K) wynosi:

$$c_{ml} = 444 + 609,56 \ln 311 = 3943 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 3,943 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad (4)$$

2. Wyznaczono gęstość mleka ρ_{ml} z zależności, która dla mleka o zawartości tłuszczu $f < 0,1$ i w zakresie temperatur $283 \text{ K} < T < 343 \text{ K}$ przyjmuje następującą postać (Niesterek, 1996):

$$\rho_{ml} = 1166 - 0,45 T - 1,46 f T + 321,6 f \quad (5)$$

gdzie:

T – temperatura mleka (K),

f – zawartość tłuszczu w mleku – ułamek wagowy.

Jak podaje Igras (2012), zawartość tłuszczu w mleku krowim wynosi 3,9–5,7%. Do obliczeń przyjęto więc zawartość tłuszczu na poziomie 4% ($f = 0,04$). Dla mleka o temperaturze 38°C (311 K) i przyjętej zawartości tłuszczu gęstość mleka wynosi:

$$\rho_{ml} = 1166 - 0,45 \cdot 311 - 1,46 \cdot 0,04 \cdot 311 + 321,6 \cdot 0,04 = 1021 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3} \quad (6)$$

3. Obliczono jednostkową ilość ciepła Q_{1d} , która co do wartości odpowiada ilości ciepła oddanego w procesie schładzania mleka udojonego od jednej krowy w ciągu doby.

$$Q_{1d} = c_{ml} m_{1d} \Delta t \quad (7)$$

gdzie:

m_{1d} – masa mleka udojonego od jednej krowy w ciągu doby (kg),

Δt – różnica temperatur ($t_1 - t_2$) (K).

Przyjmując za Luberańskim i in. (2006) dla krów wysokomlecznych, że jedna krowa może produkować w ciągu jednej doby $V_{1d} = 0,020 \text{ m}^3$ mleka, to masa mleka od jednej krowy w ciągu doby wyniesie:

$$m_{1d} = V_{1d} \rho_{ml} = 0,020 \cdot 1021 = 20,42 \text{ kg} \quad (8)$$

A zatem jednostkowa ilość ciepła z procesu schładzania mleka wynosi:

$$Q_{1d} = 3,943 \cdot 20,42 \cdot 34 = 2737,5 \text{ kJ} = 0,760 \text{ kWh} \quad (9)$$

4. Na podstawie wyznaczonej z zależności (9) jednostkowej ilości ciepła ze schładzania mleka Q_{1d} oraz całkowitych rocznych potrzeb grzewczych rozpatrywanego wiejskiego budynku mieszkalnego CZ_{EC} , można wyznaczyć niezbędną liczbę Lk dojących krów w stadzie w ciągu roku.

$$Lk = \frac{CZ_{EC}}{Q_{1d} \cdot 365} = 78,7 \approx 80 \text{ krów} \quad (10)$$

Rachunek kosztów

Koszty inwestycyjne. Gospodarstwa rolne zajmujące się chowem bydła mlecznego są najczęściej standardowo wyposażone w urządzenia do doju, schładzania i przechowywania mleka, jak i w instalacje c.o. i c.w.u. w budynkach mieszkalnych, gospodarskich i innych. Zatem analizując schemat z rysunku 1, zauważamy, że budując taki system należy jedynie ponieść nakłady finansowe na:

- pompę ciepła o mocy 9 kW – ok. 20000 PLN,
 - zbiornik akumulacyjny wody grzewczej o objętości 1300 litrów (10 litrów na każdy m^2 ogrzewanej powierzchni) – ok. 6000 PLN,
 - koszty instalacyjne – ok. 9000 PLN.
- Kwoty te po zsumowaniu dają wynik 35000 PLN.

Koszty eksploatacyjne. Koszty te są związane przede wszystkim z opłatami za energię elektryczną do napędu pompy ciepła. Jeżeli pompa ciepła pobiera 25% mocy oddawanej na wyjściu (Rubik, 2011), to dla pompy ciepła o mocy wyjściowej 9 kW pobór mocy wyniesie 2,25 kW. Biorąc pod uwagę aktualną cenę 1 kWh energii elektrycznej dla taryfy podstawowej równą 0,6289 PLN oraz wymagany czas schładzania mleka z jednego udoju równy maksymalnie 3 godzinom (Romaniuk i Overby, 2004), to koszt poniesiony na energię elektryczną w ciągu roku wyniesie w przybliżeniu:

$$2,25 \text{ kW} \cdot 2 \text{ udoje} \cdot \text{doba}^{-1} \cdot 3 \text{ h} \cdot 365 \cdot 0,6289 \text{ PLN} \cdot \text{kWh}^{-1} = 3099 \text{ PLN} \quad (11)$$

W tabeli 1 zamieszczono zestawienie porównawcze przedstawionych wyżej kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych pompy ciepła z odpowiednimi kosztami, które w tych samych warunkach należy ponieść na wyposażenie i eksploatację wybranych, stosowanych w krajowym rolnictwie, systemów grzewczych działających w oparciu o:

- kocioł na biomasę typu pelet,
- kocioł na gaz płynny,
- kocioł na olej opałowy.

Tabela 1

Zestawienie porównawcze kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych pompy ciepła i wybranych systemów grzewczych, stosowanych w krajowym rolnictwie dla budynku mieszkalnego o powierzchni 130 m²

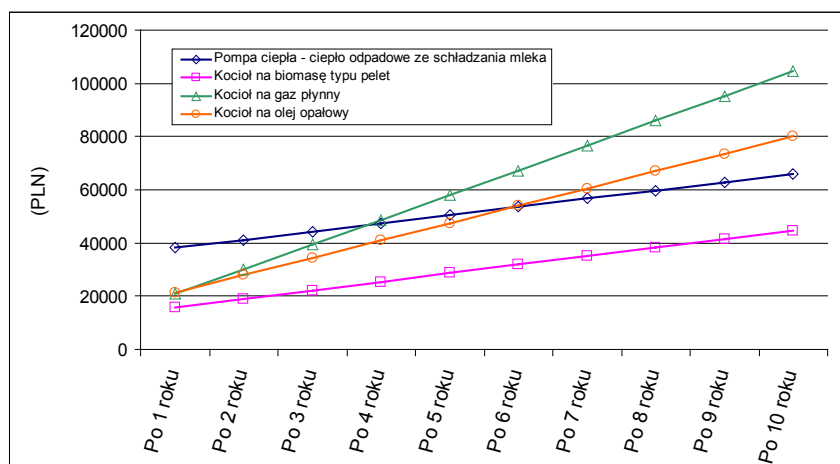
Table 1

The list of investment and exploitation costs of the heat pump and the selected heating systems applied in the national agriculture for a residential building of 130 m² area

Pompa ciepła	Kotłownia na biomasę typu pelet	Kotłownia na gaz płynny	Kotłownia na olej opałowy
KOSZTY INWESTYCYJNE			
Pompa ciepła o mocy 9 kW – ok. 20000 PLN, Zbiornik akumulacyjny wody grzewczej o objętości 1300 litrów (10 litrów na każdy m ² ogrzewanej powierzchni) – ok. 6000 PLN, Koszty instalacyjne – ok. 9000 PLN.	Kocioł wraz z armaturą – ok. 12500 PLN	Kocioł wraz z armaturą – ok. 11500 PLN	Kocioł – ok. 11500 PLN, Zbiornik na olej opałowy 2000 litrów wraz z instalacją – ok. 3500 PLN
Razem: 35000 PLN	Razem: 12500 PLN	Razem: 11500 PLN	Razem: 15000 PLN
KOSZTY EKSPLOATACYJNE			
Energia elektryczna rocznie – ok. 3099 PLN	Pelety – ok. 3,8 t/rok – ok. 3230 PLN	Gaz płynny – ok. 3000 litr/rok – ok. 8800 PLN Roczna dzierżawa zbiornika na gaz płynny – ok. 500 PLN	Olej opałowy – ok. 2000 litr/rok – ok. 6200 PLN, Roczne usługi konserwacyjne – ok. 300 PLN
Razem: 3099 PLN	Razem: 3230 PLN	Razem: 9300 PLN	Razem: 6500 PLN

Z porównania kosztów przedstawionych w tabeli 1 wynika, że w stosunku do inwestycji z zainstalowaną pompą ciepła koszt instalacji wyposażonej w kotłownię olejową jest ponad 2-krotnie niższy, a z kotłownią na biomasę i na gaz płynny ok. 3-krotnie niższy. Z analizy kosztów eksploatacyjnych wynika natomiast, że najkorzystniejszym źródłem energii jest instalacja z pompą ciepła. Autorzy artykułu obserwują także zmniejszanie się kosztów inwestycyjnych w stosunku do lat ubiegłych (Przybylski i in., 2010), co może mieć związek z rozwojem technologii, wzrostem konkurencji na rynku urządzeń grzewczych itp.

Sprawdzono także, jak kształtowałyby się koszty inwestycyjne wraz z kosztami eksploatacyjnymi w perspektywie 10-letniego okresu użytkowania poszczególnych systemów grzewczych. Wyniki tych szacunków wyraźnie uwidaczniają korzyści płynące z zastosowania pompy ciepła w stosunku do dwóch spośród trzech przyrównywanych układów grzewczych, co zostało przedstawione na rysunku 2. Dla uproszczenia przyjęto, że ceny energii elektrycznej i paliw pozostają stałe w stosunku do ich aktualnego poziomu.



Rysunek 2. Zestawienie kosztów eksploatacyjnych zsumowanych wraz z kosztami inwestycyjnymi w ciągu 10-ciu lat użytkowania, dla porównywanych systemów grzewczych
 Figure 2. The list of exploitation costs added along with investment costs within 10 years of use for the compared heating systems

Z przebiegu krzywych przedstawionych na rysunku 2 wynika, że układ grzewczy oparty o pompę ciepła już po czwartym roku użytkowania staje się tańszy od układu z kotłem na gaz płynny, a po 6 roku – od systemu z kotłem na olej opałowy. Natomiast w przyjętych warunkach koszty prowadzenia kotłowni opalanej peletami i koszty użytkowania pompy ciepła nigdy się nie zrównają.

Podsumowanie

Reasumując powyższe rozważania teoretyczne, można stwierdzić, że istnieją potencjalne możliwości wykorzystania ciepła z procesu chłodzenia mleka jako alternatywnego źródła ciepła dla budynków mieszkalnych. Przedstawiona koncepcja zyskała już zainteresowanie kilku producentów mleka z regionu warmińsko-mazurskiego, którzy zadeklarowali również chęć współpracy. Obecnie trwają prace projektowe nad wdrożeniem przedstawionego tu rozwiązania dla jednego z gospodarstw rolnych położonych w Gminie Jonkowo, a efekty tych prac zostaną opublikowane w oddzielnym artykule.

Literatura

- Daniel, Z. (2009). Ocena wyposażenia gospodarstw w systemy schładzania mleka. *Inżynieria Rolnicza*, 5(114), 55-60.
- Domański, R.; Moszyński, J.R. (1983). Możliwości i problemy magazynowania energii cieplnej. *Biuletyn Informacyjny Instytutu Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej*, 62, 29-58.
- Hołownicki, R.; Konopacki, P.; Kurpaska, S.; Latała, H.; Treder, W.; Nowak, J. (2012). Magazynowanie nadwyżek ciepła w tunelach foliowych – koncepcja kamiennego akumulatora ciepła. *Inżynieria Rolnicza*, 2(136), 79-87.
- Igras, S. (2012). Charakterystyka mleka różnych gatunków zwierząt i człowieka. Pozyskano z: <http://www.nutrilife.pl/index.php?art=25>
- Kupczyk, A.; Osiak, J.; Wojciechowski, S. (2001). Pompy ciepła – odzysk ciepła odpadowego w technologii produkcji surowego mleka. *Technika Rolnicza*, 1, 14-16.
- Kurpaska, S.; Latała, H.; Rutkowski, K.; Hołownicki, R.; Konopacki, P.; Nowak, J.; Treder, W. (2012). Magazynowanie nadwyżki ciepła z tunelu foliowego w akumulatorze ze złożem kamiennym. *Inżynieria Rolnicza*, 2(136), 157-167.
- Lewandowski, W.M.; Meler, P. (2010a). Magazynowanie energii cieplnej w gaczu parafinowym (cz. 1). *Rynek Instalacyjny*, 4, 45-51.
- Lewandowski, W.M.; Meler, P. (2010b). Magazynowanie energii cieplnej w gaczu parafinowym (cz. 2). *Rynek Instalacyjny*, 5, 77-88.
- Luberański, A.; Pawlak, T.; Szlachta, J. (2006). Zdolność wydojowa krów wysokomlecznych podczas mechanicznego doju aparatami z pulsacją jednoczesną i przemienną. *Inżynieria Rolnicza*, 3(78), 255-262.
- Niesteruk, R. (1996). *Właściwości termofizyczne żywności – cz.1*. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, ISSN 0867-096 X.
- Piechowska, S. (2009). Tu się rodzi mania Danii. *Przekrój*, 10 listopada 2009.
- Przybylski, Ł.; Olkowski, T.; Koniecko, A. (2010). Ciepło odpadowe ze schładzania mleka – koncepcja wykorzystania. *Czysta Energia*, 5(105), 34-36.
- Romaniuk, W.; Overby, T. (2004). *Systemy utrzymania bydła – Poradnik. IBMER*. Warszawa, ISBN 83-89806-00-2.
- Rubik, M. (2011). *Pompy ciepła w systemach geotermii niskotemperaturowej*. Warszawa, Wydawnictwo MULTICO, ISBN 978-83-7763-052-5.
- Rzeźnik, W.; Golimowski, W.; Szulc, R. (2007). Odzysk ciepła z udojonego mleka. *Hodowca Bydła*, 3, 36-40.
- Szulc, R.; Myczko, A. (2010). Wstępne schładzanie udojonego mleka a redukcja emisji dwutlenku węgla. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, Vol. 55(2)*, 94-96.
- Żurawski, J. (2008). Energooszczędność w budownictwie – cz.2. Energochłonność budynków mieszkalnych. *Izolacje*, 2, 26-29.

THE USE OF WASTE HEAT FROM COOLING MILK FOR HEATING A RURAL RESIDENTIAL BUILDING

Abstract. The paper presents a theoretical discussion on the use of waste heat from cooling milk for heating purposes compared to the selected conventional technologies of producing heat in a rural residential building. Moreover, the article presents approximate results of the investment and exploitation costs account. The use of waste heat from technological processes is one of the elements of limiting the fuel consumption, which becomes more and more expensive with every year and in a wider perspective it influences the improvement of the natural environment condition through decrease of CO₂ emission to atmosphere. Waste heat from the process of cooling milk constitutes a significant source of thermal energy in the energy balance of farms, where dairy cattle is bred. For many years on the national market there have been systems enabling recovery of thermal energy collected from the cooled milk and used for preparation of warm utility water, which may be used for production purposes in a cowshed or in a farm, depending on its amount and demand. Whereas, as it results from the literature review, there are no further information on the use of waste heat from cooling milk in installations of the central heating. Therefore, the purpose of the article is to complement knowledge in this scope.

Key words: waste heat, milk, heat pump, heat demand of a building, investment costs, exploitation costs

Adres do korespondencji:

Tomasz Olkowski, e-mail: tomasz.olkowski@uwm.edu.pl
Katedra Elektrotechniki, Energetyki, Elektroniki i Automatyki
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
ul. Oczapowskiego 11
10-736 Olsztyn



Dofinansowanie ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Opolu