

## KONCEPCJA AKUMULACJI CIEPŁA ODPADOWEGO ZE SCHŁADZANIA MLEKA

*Tomasz Olkowski, Maciej Neugebauer, Maciej Wesolowski*  
*Katedra Elektrotechniki, Energetyki, Elektroniki i Automatyki*  
*Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono rozważania nad magazynowaniem ciepła odpadowego ze schładzania mleka za pomocą akumulatora ciepła wykorzystującego przemianę fazową. Założono, że magazynowane ciepło będzie następnie wykorzystywane do przygotowania ciepłej wody użytkowej lub w instalacji c.o. Wykorzystanie ciepła odpadowego z procesów technologicznych wpływa na ograniczenie zużycia paliw, co z kolei przyczynia się do poprawy stanu środowiska naturalnego przez zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> 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. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że zakumulowana dzienna ilość ciepła z mleka pozyskanego od 100 krów wystarcza na ogrzanie ok. 1100 dm<sup>3</sup> wody użytkowej od 10 do 55°C lub na ogrzanie ok. 1650 dm<sup>3</sup> wody grzewczej od 10 do 40°C, np. dla ogrzewania podłogowego, co zaspokoi szczytowe zapotrzebowanie c.o. domu o powierzchni użytkowej ok. 120 m<sup>2</sup>.

**Słowa kluczowe:** mleko, schładzanie mleka, ciepło odpadowe, akumulacja ciepła

### Wprowadzenie

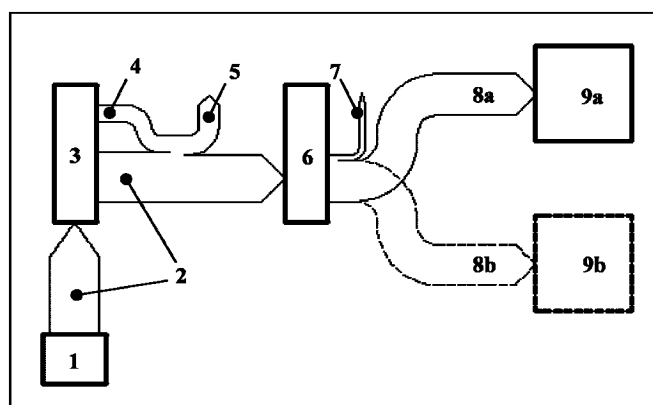
Wykorzystanie ciepła odpadowego z procesów technologicznych wpływa na ograniczenie zużycia paliw, co z kolei przyczynia się do poprawy stanu środowiska naturalnego przez zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery. W związku z tym ciepło odpadowe z procesu schładzania mleka stanowi istotne źródło energii cieplnej dla gospodarstw rolnych, zajmujących się chowem bydła mlecznego zarówno w aspekcie poprawy bilansu energetycznego, jak również z uwagi na ochronę środowiska naturalnego.

Jedną z metod realizacji postulatu oszczędności paliw kopalnych jest akumulacja ciepła odpadowego. Akumulowanie energii jest stosowane od wielu lat przez wykorzystanie urządzeń i substancji magazynujących energię, takich jak: akumulatory, elektrownie szczytowo-pompowe, zbiorniki sprężonego powietrza, koła zamachowe, dynamit, kondensacja pary (Domański i Moszyński, 1983).

Magazynowanie energii jest konieczne, gdy czas wytwarzania energii i możliwości jej dostarczania do odbiorcy nie są spójne z czasem zapotrzebowania na tę energię i zachodzi potrzeba zrównoważenia bilansu energetycznego (Rutkowski, 2007; Lewandowski i Meler, 2010a). Akumulacja energii jest wskazana również wtedy, gdy są generowane duże ilości energii odpadowej, którą można wykorzystać w innym okresie czasu (Domański i Moszyński, 1983; Lewandowski i Meler, 2010a).

## Material, metodyka i obliczenia

Przedstawiona w pracy koncepcja zakłada, że ciepło otrzymywane ze schładzania mleka będzie magazynowane w akumulatorze ciepła wykorzystującym przemianę fazową, a następnie będzie ono wykorzystywane w instalacji centralnego ogrzewania (c.o.) lub do przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.). Ilustrację koncepcji zrealizowano przy pomocy wykresu Sankey'a (rys. 1).



Rysunek 1. Interpretacja graficzna koncepcji akumulacji ciepła odpadowego ze schładzania mleka z zastosowaniem akumulatora ciepła z przemianą fazową: 1 – dój mleka, 2 – ciepło odebrane z mleka, 3 – chłodzenie, 4 – dodatkowa energia cieplna wytwarzana przez sprężarkę chłodziarki (ok. 25%), 5 – straty ciepła na drodze do akumulatora ciepła (ok. 30%), 6 – akumulator ciepła, 7 – straty ciepła na drodze do miejsca wykorzystania (ok. 10%), 8a – ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), 8b – ciepło do instalacji centralnego ogrzewania (c.o.), 9a – przygotowanie c.w.u., 9b – instalacja c.o. (np. ogrzewanie podłogowe).

Figure 1. Graphic interpretation of heat waste accumulation from milk cooling with the use of heat accumulator with phase transition: 1 – milking, 2 – heat from milk, 3 – cooling, 4 – additional thermal energy generated by refrigerator compressor (ca. 25%), 5 – heat losses on its way to a heat accumulator (ca. 30%), 6 – heat accumulator, 7 – heat losses on the way to the production place (ca. 10%), 8a – heat for preparing domestic utility hot water, 8b – heat for installation of central heating, 9a – preparation of domestic utility hot water, 9b – installation of central heating (e.g. floor heating)

Ilość ciepła możliwą do pozyskania z procesu schładzania mleka od temperatury  $t_1 = 35^\circ\text{C}$  do wymaganej temperatury przechowywania mleka  $t_2 = 4^\circ\text{C}$  (Romaniuk i Overby, 2004; Daniel, 2009) obliczono, stosując metodykę przedstawioną w artykule Przybylskiego i in. (2010).

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

$$c_{ml} = 444 + 609,56 \ln T, \quad (1)$$

gdzie:

$T$  – temperatura mleka (K).

Stąd ciepło właściwe mleka o temperaturze  $35^\circ\text{C}$  (308 K) wynosi:

$$c_{ml} = 444 + 609,56 \ln 308 = 3937 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} = 3,937 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \quad (2)$$

2. Wyznaczono gęstość mleka  $\rho_{ml}$  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 (Niesteruk, 1996):

gdzie:

$$\rho_{ml} = 1166 - 0,45 T - 1,46 f T + 321,6 f \quad (3)$$

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 4,8% ( $f = 0,048$ ). Dla mleka o temperaturze  $35^\circ\text{C}$  (308 K) i przyjętej zawartości tłuszczu gęstość mleka wynosi:

$$\rho_{ml} = 1166 - 0,45 \cdot 308 - 1,46 \cdot 0,048 \cdot 308 + 321,6 \cdot 0,048 = 1021,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3} \quad (4)$$

3. Obliczono jednostkową ilość ciepła  $Q_{1d}$  oddanego w procesie schładzania mleka udojonego od jednej krowy w ciągu doby.

$$Q_{1d} = c_{ml} m_{1d} \Delta t \quad (5)$$

gdzie:

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

$\Delta t$  – 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:

$$m_{1d} = V_{1d} \rho_{ml} = 0,020 \cdot 1021,25 = 20,425 \text{ kg} \quad (6)$$

A zatem:

$$Q_{1d} = 3,937 \cdot 20,425 \cdot 31 = 2492,8 \text{ kJ} = 0,693 \text{ kWh} \quad (7)$$

Zakładając, że dziennie jest chłodzone mleko od 100 krów, ilość ciepła odebranego z udojonego mleka będzie wynosiła:

$$Q_{100d} = 100 \text{ krów} \cdot Q_{1d} = 249,3 \text{ MJ} = 69,3 \text{ kWh} \quad (8)$$

Ilość ciepła odebrana ze skraplacza chłodziarki będzie większa o ok. 25% i wyniesie 332 MJ = 92,3 kWh. Jak wynika z rysunku 1, akumulator ciepła może być ładowany ze sprawnością ok. 70% (Chełchowski, 2013), a więc dzienna ilość ciepła zmagazynowana w akumulatorze wyniesie około 232,4 MJ = 64,6 kWh.

Ciepło zgromadzone w akumulatorze może być przekazywane do dalszego wykorzystania ze sprawnością ok. 90% (Lewandowski i Meler, 2010b), co daje ostateczną ilość ciepła równą 209,16 MJ = 58,15 kWh. Taka ilość ciepła pozwala na:

- ogrzanie ok. 1100 dm<sup>3</sup> wody użytkowej od 10°C do 55°C, co przy dziennym zapotrzebowaniu ciepłej wody, wynoszącym ok. 35 dm<sup>3</sup> na jedną osobę żyjącą w domu jednorodzinnym (Dz.U.2008.201.1240), pozwala na pokrycie zapotrzebowania c.w.u. dla ok. 31 osób;
- lub ogrzanie ok. 1650 dm<sup>3</sup> wody grzewczej od 10°C do 40°C, np. dla ogrzewania podłogowego, co zaspokoi szczytowe zapotrzebowanie c.o. domu o powierzchni użytkowej ok. 120 m<sup>2</sup>.

## Wnioski

Z przedstawionej koncepcji wynika, że:

1. Akumulacja ciepła odpadowego ze schładzania mleka może być korzystnym rozwiązaniem dla gospodarstw rolnych, zajmujących się chowem bydła mlecznego.
2. Ilość ciepła zgromadzonego w akumulatorze ciepła zależy od ilości pozyskiwanego mleka, a co za tym idzie – od liczebności dojonych krów w stadzie:
  - większe liczebności dojonych krów w stadzie zapewnią ciepło do ogrzewania budynków,
  - mniejsze liczebności dojonych krów w stadzie zapewnią ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej.

## Literatura

- Chełchowski, W. (2013). *Odzysk ciepła z procesu chłodzenia*. Pozyskano z: <http://www.chelchowski.pl/odzysk-ciepa-z-procesu-chodzenia>
- 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.
- Dz.U.2008.201.1240, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej, 38-39.

- Igras, S. (2012). *Charakterystyka mleka różnych gatunków zwierząt i człowieka*. Pozyskano z: <http://www.nutriline.pl/index.php?art=25>
- 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*. Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, ISSN 0867-096 X
- 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*. Warszawa, IBMER, ISBN 83-89806-00-2
- Rutkowski, K. (2007). Wpływ wilgotności gruntu na akumulację ciepła w tunelu foliowym. *Inżynieria Rolnicza*, 9(97), 189-195.

## IDEA OF ACCUMULATING HEAT WASTE FROM MILK COOLING

**Abstract.** Discussion on storing heat waste from milk cooling with the use of heat accumulator using a phase transition was presented. It was assumed that the stored heat would then be ~~next~~ used for preparation of domestic hot water or in the central heating installation. The use of heat waste from technological processes influences decreases fuels consumption, which next influences the improvement of condition of the natural environment by decrease of CO<sub>2</sub> emission to atmosphere. Heat waste from the process of milk cooling constitutes a significant source of thermal energy in the energy balance of farms, where dairy cattle is bred. Performed calculations show that accumulated daily amount of heat from milk obtained from 100 cows is sufficient to heat approx. 1100 dm<sup>3</sup> of water from 10 to 55°C for domestic purpose or for heating approx. 1650 dm<sup>3</sup> of water from 10 to 40°C, e.g. for floor heating which will satisfy top central heating demand of a house of usable area of approx. 120 m<sup>2</sup>.

**Key words:** milk, milk cooling, heat waste, heat accumulation

### Adres do korespondencji:

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